குறை கடத்திகள்

[SEMI CONDUCTORS]

ச. சோமசுந்தரம்

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

த். பா. நி. (க. வெ.) வரிசை எண்—792

குறைகடத்திகள்

(பட்டப் படிப்பிற்குரியது)

ஆசிரியர்

எஸ். சோமசுந்தரம், எம். எஸ்சி.,
இயற்பியல் பேராசிரியர்,
பெரியார் ஈ. வெ. ரா. கல்லூரி,
திருச்சிராப்பள்ளி-20.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—February, 1978
Number of Copies — 2000

T.N.T.B.S. (C.P.) No. 792

© Government of Tamilnadu

SEMI CONDUCTORS

S. SOMASUNDARAM M. Sc.

Price Rs. 15-10

Published by the Tamilnadu Text-book Society under the Centrally Sponsored Scheme of production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

This book has been printed on concessional paper made available by the Government of India.

Printed by
Jayamaliga Achakam,
1, H. K. Colony Road,
Nandambakkam, Madras - 600 089
Phone : 431871

அணிந்துரை

(திரு. செ. அரங்கநாயகம், தமிழகக் கல்வி அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பதினேழாண்டு கள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் இளங்கலை வகுப்புவரை மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்று வந்தனர். 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து அறிவியல் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர் களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளில் தொண்டு செய்வோர் இதற் கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித்தர முன்வந்துள்ள நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மனநிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்று வருகிறது. இவ் வகையில் கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்களுக்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக்கழகமும், சென்னைப் பல்கலைக்கழகமும் ஆண்டுதோறும் எடுத்துவரும் பெருமுயற்சி யைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்லவேண்டும்.

வரலாற்றியல், அரசியல், உளவியல், பொருளியல், மெய்ப் பொருளியல், புவியியல், புவியமைப்பியல், மனையியல், கணித வியல், இயற்பியல், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல், விலங்கியல், தாவரவியல், பொறியியல், சட்டவியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் மூலநூல்கள், மொழிபெயர்ப்பு நூல்கள் என்று இரு வகையிலும் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம் நூல்களை வெளியிட்டு வருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான குறைகடத்திகள் என்னும் இந் நூல் தமிழ் நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 792 ஆவது வெளியீடாகும். கல்லூரித் தமிழ்க் குழுவின் சார்பில் வெளியான 35 நூல்களையும் சேர்த்து இதுவரை 827 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு, கல்வி, சமூக நல அமைச்சகத்தின் 'மாநில மொழியில் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்ட'த்தின்கீழ் வெளியிடப் படுகிறது.

தமிழில் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும் என்பதே நம் குறிக்கோளாகும். கல் லூரிகளிலும் பல்கலைக்கழகங்களிலும் கலையியற் பாடங்களையும், அறிவியற் பாடங்களையும், தொழில்நுட்ப அறிவுப் பாடங்களையும், பயிலுகின்ற மாணவர்கள், அவற்றைத் தமிழில் பயில வேண்டும் என்பதை வலியுறுத்தி வருவதற்குக் காரணம், தமிழறிவு வளர வேண்டும் என்பதைவிட, தமிழ் மக்களின் அறிவு ஆற்றல் எளிதாக, விரைவாக வளர வேண்டும் என்பதுதான். 'எதிலும் தமிழ்; எங்கும் தமிழ்' என்னும் குறிக்கோளை நிறைவேற்ற வேண்டிய கடப்பாடு தமிழக ஆசிரியப் பெருமக்களையும் மாணவர்களையும் சார்ந்த தாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக்கழகங்களின் பல்வகை உதவி களுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம்கலந்த நன்றி உரியதாகுக!

செ. அரங்கநாயகம்

பொருளடக்கம்

			பக்கம்
1.	அறிமுகம்	...	1
2.	குறைகடத்திப் பொருள்கள்	...	15
3.	குறைகடத்திகளில் எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும்	...	35
4.	குறைகடத்தியின் ஆற்றல்பட்டைக் கோட்பாடு	...	80
5.	குறைகடத்தியின் ஃபெர்மி - டிராக் புள்ளித் தொகுப்பியல் அல்லது கணிப்பியல்	...	125
6.	குறைகடத்தி டையோடுகளும் டிரான்சிஸ்டர்களும்	...	151
7.	P—N சந்திக் கோட்பாடு	...	179
8.	P—N சந்தியின் சிறப்பியல்புகள்	...	241
9.	டிரான்சிஸ்டரின் கோட்பாடு	...	271
10.	டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்பு வளைகோடுகள்	...	328
11.	ஹால் விளைவு	...	364
12.	குறைகடத்திக் கருவிகள்	...	372
13.	குறைகடத்திச் சிறப்புக் கருவிகள்	...	429
14.	டிரான்சிஸ்டர் பராமீட்டர்கள்	...	497
15.	டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுகள்	...	514
	பிற்சேர்க்கை	...	544

பல்வேறு டயோடுகள் டிரான்சிஸ்டர் குறியீடுகள் அட்டவணை

(i) பயனுள்ள சில மாறிலிகள்

(ii) அளவைகளின் கீழ்ப்பகுதிகளும் மேற்பகுதிகளும்

(iii) கிரேக்க எழுத்துகளும் அவற்றின் பெயர்களும்

மேற்கோள் நூற்பட்டியல்	...	548
கலைச்சொற்கள்	...	551

இப் புத்தகத்தில் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள குறியீடுகளின் பட்டியல்

A பரப்பு
A_e உமிழ்வாய்ப் பரப்பு
A_I மின்னோட்டப் பெருக்கம்
A_p திறன் பெருக்கம்
A_v மின்னழுத்தப் பெருக்கம்
α மின்னோட்டப் பெருக்கம்
α^* ஏற்புவாய்ப் பெருக்குத் தகவு
b எலக்ட்ரான் நகர்வுக்கும் துளையின் நகர்வுக்கும் உள்ள தகவு
β உமிழ்வாய் நில இணைப்பில் மின்னோட்டப் பெருக்கம்
β^* அடிவாய் இடப்பெயர்ச்சி எண்
C_{dc} ஏற்புவாய் ஊடுருவல் மின்தேக்கு திறன்
C_{de} உமிழ்வாய் ஊடுருவல் மின்தேக்கு திறன்
C_t கடக்கும் பகுதி மின்தேக்கு திறன்
C_0 ஏற்புவாய் மின்தேக்கு திறன்
C மின்னூர்திச் செறிவு
γ உமிழ்வாய்த் திறம்
D ஊடுருவல் மாறிலி
D_n எலக்ட்ரானின் ஊடுருவல் மாறிலி
D_{nb} அடிவாயில் எலக்ட்ரானின் ஊடுருவல் மாறிலி
D_{nc} ஏற்புவாயில் எலக்ட்ரானின் ஊடுருவல் மாறிலி
D_{ne} உமிழ்வாயில் எலக்ட்ரானின் ஊடுருவல் மாறிலி
D_p துளையின் ஊடுருவல் மாறிலி
D_{pb} அடிவாயில் துளையின் ஊடுருவல் மாறிலி
D_{pc} ஏற்புவாயில் துளையின் ஊடுருவல் மாறிலி
D_{pe} உமிழ்வாயில் துளையின் ஊடுருவல் மாறிலி
E ஆற்றல்
E_A ஏற்பித் தூசு ஆற்றல்
E_c கடத்துப்பட்டை ஆற்றல்
E_D கொடைத் தூசு ஆற்றல்
E_F ஃபெர்மி மட்ட ஆற்றல்

E_g	பட்டை இடைவெளி ஆற்றல்
E_v	இணைதிறப்பட்டை ஆற்றல்
e	ஊர்தி தோற்றுவிக்கப்படும் வீதம்
e_g	மின்னியற்றி மின்னழுத்தம்
ε	மின்புலம்
ε_m	பெரும மின்புலம்
$\in$	அனுமதித்திறன்
$\in_0$	வெற்றிடத்தின் அனுமதித் திறன்
f	அதிர்வெண்
f_T	மின்னோட்டப்பெருக்கப் பட்டை அகல அதிர்வெண்
f_b	அடிவாய் வெட்டு அதிர்வெண்
f_b'	சரிவாக அமைந்த அடிவாய் வெட்டு அதிர்வெண்
f_m	பெரும அதிர்வெண்
f_{α_b}	ஆல்ஃபா வெட்டு அதிர்வெண்
f_{α_e}	பீட்டா வெட்டு அதிர்வெண்
h	கலப்பினப் பராமீட்டர்
θ	கட்டக்கோணம்
I	மின்னோட்டம்
I_B	அடிவாய் மின்னோட்டம்
I_c	ஏற்புவாய் மின்னோட்டம்
I_E	உமிழ்வாய் மின்னோட்டம்
I_F	முன்னோக்கிய பயாசு மின்னோட்டம்
I_R	திருப்பிய பயாசு மின்னோட்டம்
I_n	எலக்ட்ரான் மின்னோட்டம்
I_p	துளை மின்னோட்டம்
J	மின்னோட்டச் செறிவு
J_n	எலக்ட்ரானின் மின்னோட்டச் செறிவு
J_p	துளையின் மின்னோட்டச் செறிவு
K	போல்ட்ஸ்மென் மாறிலி
L	ஊடுருவல் நீளம்
L_n	எலக்ட்ரானின் ஊடுருவல் நீளம்
L_p	துளையின் ஊடுருவல் நீளம்
l	நீளம்
λ	அலைநீளம்
M	சரிவுக்குலைவுப் பெருக்கு எண்
m	எலக்ட்ரானின் நிறை
m_n	எலக்ட்ரானின்
m_p	துளையின்
μ	நகர்வு

μ_I தூசு நகர்வு

μ_n எலக்ட்ரான் நகர்வு

μ_p துளை நகர்வு

N தூசு அணுச்செறிவு

N_A ஏற்பித்தூசு அணுச்செறிவு

N_D கொடைத்தூசு அணுச்செறிவு

N_v இணைதிறப்பட்டை நிலைகளின் செறிவு

n எலக்ட்ரான் செறிவு

n_D கொடை அணுவுடன் கட்டுண்ட எலக்ட்ரான்களின் செறிவு

n_n n-பகுதியில் பெரும்பான்மை எலக்ட்ரான்களின் செறிவு

n_p p-பகுதியில் சிறுபான்மை எலக்ட்ரான்களின் செறிவு

γ அதிர்வெண்

P துளைச்செறிவு

P_A ஏற்பி அணுவுடன் கட்டுண்ட துளைச்செறிவு

P_n n-பகுதியில் சிறுபான்மைத் துளைகளின் செறிவு

P_p p-பகுதியில் பெரும்பான்மைத் துளைகளின் செறிவு

Q_T கடத்துப்பகுதி மின்தேக்கு மின்னேட்டம்

q எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம்

R மின்தடை

R மின் ஊர்திகள் ஒன்றிடும் வீதத்தின் தகவு

R_L பளுமின்தடை

R_n எலக்ட்ரான் ஒன்றிடும் வீதம்

R_p துளை ஒன்றிடும் வீதம்

r ஆரம்

ρ நிலையான மின்னூட்டச் செறிவு

ρ மின்தடை எண்

ρ_b அடிவாய்ப் பகுதியின் மின்தடை எண்

ρ_c ஏற்புவாய்ப் பகுதியின் மின்தடை எண்

ρ_e உமிழ்வாய்ப் பகுதியின் மின்தடை எண்

ρ_n n-பகுதி மின்தடை எண்

ρ_p p-பகுதி மின்தடை எண்

S நிலைத்தன்மை எண்

σ கடத்து எண்

T தனி வெப்பநிலை

t நேரம்

τ வாழ்வு நேரம்

τ_b அடிவாய்ப் பகுதியில் வாழ்வு நேரம்

τ_c ஏற்புவாய்ப் பகுதியில் வாழ்வு நேரம்

τ_e உமிழ்வாய்ப் பகுதியில் வாழ்வு நேரம்
τ_n எலக்ட்ரான் வாழ்வு நேரம்
τ_p துளை வாழ்வு நேரம்
V மின்னழுத்தம்
V_B சரிவுச் சீர்குலைவு மின்னழுத்தம்
V_{BE} அடிவாய் உமிழ்வாய் மின்னழுத்தம்
V_c ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம்
V_{CB} அடிவாய் ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம்
V_{cc} ஏற்புவாய்ப் பயாசு மின்னழுத்தம்
V_{CE} ஏற்புவாய் உமிழ்வாய் மின்னழுத்தம்
V_E உமிழ்வாய் மின்னழுத்தம்
V_F முன்னேக்கிய பயாசு மின்னழுத்தம்
V_G பட்டை இடைவெளி மின்னழுத்தம்
V_{PT} துளையிட்டுச் செல்லும் மின்னழுத்தம்
V_R திருப்பிய பயாசு மின்னழுத்தம்
V_T சந்திதொடு மின்னழுத்தம் அல்லது மின்னழுத்தத் தடுப்பு
V_J சந்தி மின்னழுத்த வீழ்ச்சி
v திசைவேகம்
φ ஃபெர்மிமட்ட மின்னழுத்தம்
φ_n *n*-பகுதி ஃபெர்மிமட்ட மின்னழுத்தம்
φ_p *p*-பகுதி ஃபெர்மிமட்ட மின்னழுத்தம்
φ'_n *n*-பகுதியில் தோற்ற ஃபெர்மி மட்டம்
φ'_p *p*-பகுதியில் தோற்ற ஃபெர்மி மட்டம்
W அடிப்பகுதியின் விளைவு அகலம்
x தொலைவு
x_m நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் தடிமன்
x_n *n*-பகுதியில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் தடிமன்
x_p *p*-பகுதியில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் தடிமன்
Y மின் ஏற்பு
ψ நிலைமின்னழுத்தம்
ψ_n *n*-பகுதியில் நிலைமின்னழுத்தம்
ψ_p *p*-பகுதியில் நிலைமின்னழுத்தம்
Z மின்மறுப்பு
Z_i உள்ளீட்டு மின் மறுப்பு
Z_o வெளியீட்டு மின் மறுப்பு
ω கோண அதிர்வெண்

1. அறிமுகம்

டிரான்சிஸ்டரின் வரலாறு என்பது உண்மையில் குறை கடத்திகளின் வரலாறேயாகும். குறைகடத்திபற்றிய விவரங்கள் நமக்கு ஒரே நாளில் கிடைத்தவையல்ல. இயற்பியலிலும் வேதியியலிலும் பல்லாண்டுகளாகச்செய்யப்பட்ட ஆராய்ச்சிகளின் விளைவே இக் குறைகடத்திக் கருவிகளின் தோற்றமாகும். முதன்முதலில் திடப்பொருளில் மின்னூட்ட மாறுபாடுகளைக் கண்டறிந்த பெருமை அறிவியல் மேதை மைக்கேல் ஃபாரடே யையே சாரும். இவர்தாம் முதன்முதலில் 1883ஆம் ஆண்டு வெள்ளிச் சல்ஃபைடு (silver sulphide) என்ற பொருள் எதிர் மின் தடை வெப்ப எண்ணை (negative temperature co-efficient of resistance) கொண்டிருக்கிறது என்று கண்டுபிடித்தார். இதி லிருந்து சுமார் 50 ஆண்டுகளுக்கு எவ்விதமான கண்டுபிடிப்பு களும் தோன்றவில்லை. 1879ஆம் ஆண்டுதான் அறிவியலார் E. H. ஹால் (Hall) என்பவர் ஒரு புதிய விளைவைக் கண்டு பிடித்தார். மின்னோட்டமுள்ள கடத்தி ஒன்று மின்னோட்டத் திசைக்குச் செங்குத்தாக உள்ள ஒரு காந்தப் புலத்தில் வைக்கப் படும்போது கடத்தியின் குறுக்காக ஒரு மின்னழுத்தம் தோன்று கிறது. இதுதான் இன்றைய புகழ்வாய்ந்த ஹால் விளைவு (Hall Effect) ஆகும். இந்த ஹால் விளைவைப் பயன்படுத்திப் பொருள்களில் ஊர்திகளின் நகர்வையும், செறிவையும் தீர்மானிக்க முடியும். இதன் அடிப்படையில் உலோகங்களிலிருந்து குறை கடத்தியைப் பிரித்தறிய முடிகிறது. ஹால் கண்டுபிடித்த நேரத்தில் அதை விளக்கவோ அல்லது பரிசோதனை மூலம் மெய்ப்பிக்கவோ முடியாதிருந்தாலும் ஹால் விளைவிலிருந்து நேர் மின்னூட்டங்கொண்ட ஊர்திகள் (துளைகள்) இருக்கின்றன என்று ஊகிக்க முடிந்தது.

இந்த நூற்றாண்டின் முற்பகுதியில் குவான்டம் இயக்கவியல் கோட்பாடுகள் தோற்றுவிக்கப்பட்டுப் பெருமளவு பயன்படுத்தப் பட்டன. இதனைப் பயன்படுத்தித் திடப்பொருள்களில் எலக்ட் ரான்களின் இயங்குமுறையைத் தெளிவாக விளக்க முடிந்தது. இதனிடையே சோடிங்கர் (Schrodinger) என்பார் எலக்ட்ரானின் அலைத்தன்மைக் கோட்பாட்டை உருவாக்கி விளக்கினார்.

1928ஆம் ஆண்டு சாமர்ஃபெல்டு (Sommerfeld) என்பவர் ஃபெர்மி டிராக் புள்ளித்தொகுப்பியல் அடிப்படையில் மின்கடத்தலை விளக்கினார். 1931ஆம் ஆண்டுதான் A. H. வில்சன் (Wilson) என்பவர் குவான்டம் இயக்கவியலின் அடிப்படையில் குறை கடத்திகளின் கொள்கையைத் தெளிவாக எடுத்துக்கூறினார். இவருடைய விளக்கம் திடப்பொருள்களில் ஆற்றல் பட்டைக் கருத்துப்படிவத்தை அறிமுகப்படுத்திற்று. இதனையொட்டி அணுக் கோவையில் எலக்ட்ரான் இல்லாத காலியிடத்தைப் (துளை) பற்றியும் மிக விரிவாக அறிந்துகொள்ள உதவிற்று.

இரண்டாம் உலகப் போரின் போது செலினியம் அலைதிருத்தி, காப்பர் ஆக்ஸைடுகள் பூசப்பட்ட அலைதிருத்திகள் போன்றவை கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அந்த நேரத்தில் அலைதிருத்தியைப்பற்றித் திருத்தமாக எதுவும் தெரியாது. போருக்கு முன்னால்தான் சிலிக்கானைப் பயன்படுத்திய கருவிகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுப் பயன் பாட்டுக்கு வந்தன. இவை ரேடார் (Rador) அமைப்பில் உயர் அதிர்வெண் டயோடுகளாகப் பயன்படுத்தப்பட்டன. சிலிக்கா னின் மேம்பாடுற்ற பண்புகளை அறிந்தபின் அதை மேலும் தூய்மைப்படுத்திப் பயன்பாட்டுக்குக் கொண்டுவர பெல் டெலி ஃபோன் ஆய்வுக்கூடத்திலிருந்தோர் முனைந்து ஆராய்ந்தனர். இதன் விளைவாக மிக உயர்ந்த திருத்திய பண்புகளைக்கொண்ட சிலிக்கான் *p-n* சந்தி முதன்முதலாக உருவாக்கப்பட்டது.

குறைகடத்திப் பொருளின் குணங்களும், டிரான்சிஸ்டர் களும் முதன்முதலில் பெல் டெலிஃபோன் ஆய்வுக்கூடத்தில்தான் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. டிரான்சிஸ்டரின் கதையும் பொதுவாகச் சொல்லப்போனால் பருப்பொருளின் கதையே. இது பெல் டெலி ஃபோன் ஆய்வுக்கூடத்தில் முதன்முதலாக ஒரு பருப்பொருள் மின் னோட்டத்தைப் பெருக்கித் தருவதைக் கண்டுபிடித்ததிலிருந்து தொடங்குகிறது. டிரான்சிஸ்டர் நடைமுறை வாழ்க்கைக்கு இவ் வளவு பயனுள்ளதாக இருந்திராவிட்டாலும் திடப்பொருள் நிலையில் பருப்பொருளைப்பற்றி விரிவாக அறிந்துகொள்வதற்கு இந்தக் கண்டுபிடிப்பு முக்கியமாகப் பயன்பட்டிருக்கும். இதுவரை வெற்றிட வால்வுகளைக் கொண்டுதான் மின்னோட்டத்தைப் பெருக்கிவந்துள்ளனர். முதன்முறையாகப் பருப்பொருளில்—திடப்பொருளில்—மின்னோட்டப் பெருக்கத்தைப் பெற முடியும் என்று காட்டப்பட்டது, அறிவியலுலகிலேயே ஒரு முக்கியமான நிகழ்ச்சியாக அமைந்தது. செய்தித் தொடர்புத் துறையில் வெற்றிட வால்வுகளின் கண்டுபிடிப்பு ஒரு குறிப்பிடத்தகுந்த முன்னேற்றமாக அமைந்தது. அடுத்து டிரான்சிஸ்டர்கள் கண்டு

பிடிக்கப்பட்டபோது அது இதைவிட மிக முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாக எண்ணப்பட்டது. 1906ஆம் ஆண்டு டாக்டர் லீடீ ஃபாரஸ்ட் (Lee de Forest) டிரையோடு வெற்றிட வால்வைக் கண்டுபிடித்ததிலிருந்து எலக்ட்ரானியல் துறையில் இதுவரை இருந்துவந்த நடைமுறை வழிகள் முற்றிலும் மாறுபட்டு அமைந்தன.

பெல் டெலிஃபோன் ஆய்வுக்கூடங்களில் பணியாற்றி வந்த ஜான் பார்டீன் (John Bardeen), வில்லியம் ஷாக்லீ (William Shockley), W.H. பிராட்டைன் (W.H. Brattain) ஆகிய அறிவியல் மேதைகள் டிரான்சிஸ்டரைக் கண்டுபிடித்து உருவாக்கினர். 1948ஆம் ஆண்டு ஜூன் மாதத்தில் டிரான்சிஸ்டர் கண்டுபிடிப்பு பற்றி முதன்முதலில் அறிவிக்கப்பட்டது. இது கண்டுபிடிக்கப் பட்டு நீண்டகாலம்வரை ஒன்றும் ஆகிவிடவில்லை. ஆனுல், அது பயன்படுத்தப்படும் அளவு வெற்றிடக் குழல்களின் அளவைவிட மிகுதியாகப் போய்விட்டது. வெற்றிட வால்வுகளின் இடத்தை முழுவதும் அது பிடித்துக்கொள்ளும் நாள் வெகு தொலைவில் இல்லை. வெற்றிடக் குழல்கள் மட்டுமே செய்துவந்த சில செயல் களை இந்த டிரான்சிஸ்டர்கள் மிக எளிதாகச் செய்துவிடுவதே இதற்குக் காரணம்.

1951ஆம் ஆண்டளவில் எலக்ட்ரான் இயலில் டிரான் சிஸ்டர்கள் மிகுதியாகச் செயல்படத் தொடங்கிவிட்டன. டிரான் சிஸ்டர்களின் எண்ணிக்கையில்லாத மேம்பாடுகளை அறிந்த அமெரிக்கத் தற்காப்புத்துறையினர் குறைகடத்திகளை உருவாக்கு வதற்கும், மேலும் மேலும் அவற்றை ஆராய்வதற்கும், ஆராய்ச்சி களை விரிவாக்குவதற்கும் ஊக்கம் தந்து பெரும்பொருளைச் செல விட்டனர். இதன் விளைவாகத்தான் டிரான்சிஸ்டர்களும் அவற் றின் பயன்பாடுகளும் மிக வேகமாக முன்னேறி நடைமுறை உபயோகத்திற்கு வந்தன. டிரான்சிஸ்டர் அமைப்புகளை உருவாக் கியதில் பெரும்பங்கு ஜான் பார்டீன் (John Bardeen), W.H. பிராட்டைன் (W. H. Brattain), வில்லியம் ஷாக்லீ (William Shockley) ஆகிய அறிவியல் மேதைகளைச் சார்ந்தது. இதற்காகவே இவர்களுக்கு நோபல் பரிசுகள் வழங்கப்பட்டன. 1956ஆம் ஆண்டுவாக்கில் பெல் டெலிஃபோன் ஆய்வுக்கூடத்தார் ஊடுருவல் அடிப்பகுதியமைந்த மீசா டிரான்சிஸ்டர்களைக் கண்டுபிடித்தனர். இதனுல் மிகமிக உயர்ந்த அதிர்வெண்களில் செயல்படும் நம்பத் தகுந்த டிரான்சிஸ்டர்களை உருவாக்கமுடிந்தது.

எலக்ட்ரான் வால்வுகளுடன் ஒப்பிடும்போது இவை வடிவத் தில் மிகச் சிறியவை. இந்தச் சிறிய வடிவமும் மிக உயர்ந்த

செயல்திறனும்தான் இந்த டிரான்சிஸ்டர் பல்வேறு இடங்களில் பயன்படுத்தப்படுவதற்கு முக்கியக் காரணங்களாகும். அத்தோடு கூட மிகமிக உயர்ந்த அதிர்வெண்களில் இந்த டிரான்சிஸ்டர்கள் செயற்படக் கூடியவை. கிலோ மெகாசைக்கிள்களில் செயற்படும் டிரான்சிஸ்டர்களை இப்போது தயாரிக்கின்றனர். இந்த அதிர்வு எண்களில் எலக்ட்ரான் வெற்றிட வால்வுகள் ஒருபோதும் செயற்பட முடியாது. டிரான்சிஸ்டர் ஒரு திடப்பொருள் ஆகையால், வெற்றிட வால்வில் இருப்பதுபோல் ஒரு வெற்றிடத்தைச் சுற்றி மூடியுள்ள பகுதி தேவையில்லை. இதனால் மிகுந்த மின்னாற்றல் வீணாகாமல் சேமிக்கப்படுகிறது. வெற்றிட வால்வுகளில் ஏறத்தாழப் பாதிக்கு மேலான ஆற்றல், வால்வு இழைகளைச் சூடாக்குவதிலேயே செலவழிந்துவிடுகின்றன.

டிரான்சிஸ்டர் பயன்படுத்தப்படும்போது இவ்வாறு ஆற்றல்கள் G-1 வீணாக்கப்படாமல் இருப்பதால் அது திறமை வாய்ந்ததாக, தரமிக்கதாகச் செயல்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் 5 மிலி ஆம்பியர்; அதன் மின்னழுத்தம் ஆறு வோல்ட் என்றால் அது எடுத்துக் கொள்ளும் ஆற்றல் அளவு 5 மிலி வாட் ஆகும். இதுவே வெற்றிட வால்வாக இருந்தால் 3·7 வாட் ஆக இருக்கும். ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் பருமன் ஒரு வால்வின் பருமனில் ஆயிரத்திலொரு பங்குதான் இருக்கும். நிறையும் நூறிலொரு பங்குதான் இருக்கும். எனவே, இந்த மேம்பாடுகளால் டிரான்சிஸ்டர்கள் பெரிதும் விரும்பப்படுகின்றன. வெற்றிட வால்வுகளில் சூடான இழையிலிருந்து நேர் மின்னூட்டத்தகடு நோக்கி எலக்ட்ரான்கள் ஓடுகின்றன. இவற்றின் ஓட்டத்தை நடுவிலுள்ள கிரிட்டைக் கொண்டு கட்டுப்படுத்தலாம். டிரான்சிஸ்டர்களிலும் எலக்ட்ரான்கள் ஓட்டத்தாலேயே அதன் செயல் நடைபெறுகிறது. இருந்தாலும் இந்த இரண்டும் அடிப்படை வேறுபாடுகளைக் கொண்டவை. எனவே, பருப்பொருளின் அடிப்படையைப்பற்றியும் இவற்றில் எலக்ட்ரான்களின் பங்குபற்றியும் தெளிவாகவும் விரிவாகவும் அறிந்துகொள்வது குறைகடத்திக் கருவிகள், டிரான்சிஸ்டர்கள் ஆகியவற்றின் செயல்திறனை எளிதாகத் தெரிந்து கொள்ள உதவியாக இருக்கும்.

அணு அமைப்பும் எலக்ட்ரான்களும்

மனிதனுக்குத் தெரிந்த ஒவ்வொரு பொருளையும் மிகச் சிறிய துகள்களாகப் பகுத்துவிட முடியும். இவ்வாறு பகுக்கப்பட்ட அல்லது பிரிக்கப்பட்ட துகள்கள் இனிமேல் பகுக்கமுடியாது

என்ற நிலை வரும்போது அவை 'மூலக்கூறுகள்' எனப்படு கின்றன. இம் மூலக்கூறுகள் பகுக்கப்பட்ட பொருளின் தனித்த குணங்களைப் பெற்றிருக்கும். மூலக்கூறுகள் மிகமிகச் சிறியனவாய் இருக்கும். இவற்றினைக் கண்ணால் காணக் கருவிகள் எதுவும் இதுவரை கண்டுபிடிக்கப்படவில்லை. இருப்பினும் மறைமுகமாக மூலக்கூறுகளைப்பற்றித் தெரிந்துகொள்ளவும் அவற்றின் அமைப்பு களைப்பற்றித் தெரிந்துகொள்ளவும் நமக்குச் சில வழிமுறைகள் தெரிந்திருக்கின்றன.

ஒரு மூலக்கூறில் ஒரு தனிமமோ அல்லது பல்வேறு தனிமங் களின் கூட்டோ இருக்கலாம். கடந்த நூறு ஆண்டுகளில் இயற்பியல் அறிஞர்களும், வேதியியல் அறிஞர்களும் நூற்றுக்கும் அதிகமான வெவ்வேறு தனிமங்களைக் கண்டுபிடித்திருக்கின்றனர். இந்தத் தனிமங்கள்தாம் தனியாகவோ அல்லது ஒன்றுடனொன்று கூட்டுச் சேர்ந்தோ இந்தப் புவிமேலுள்ள எல்லாப் பொருள்களை யும் தோற்றுவித்திருக்கின்றன. இவ்வாறு தனிமங்கள் ஒன்றன் பின் ஒன்றாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட நிகழ்ச்சி மனிதனின் அறி வாற்றல் விரிந்துகொண்டேயிருப்பதையும் அறிவியல் துறை விரை வாக முன்னேறிக்கொண்டேயிருப்பதையும் காட்டுகிறது. இந்தத் தனிமங்களின் எண்ணிக்கையை இன்னும் கூட்டிக்கொண்டே செல்லலாம். ஹைட்ரஜன், ஆக்ஸிஜன், கார்பன், தங்கம், வெள்ளி, நிக்கல் தாமிரம், இரும்பு முதலியன மிக நன்றாகத் தெரிந்த சில தனிமங்கள்.

சில பொருள்கள் இரண்டு அல்லது அதற்குமேற்பட்ட தனிமங் களால் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. தண்ணீர்—ஹைட்ரஜன், ஆக்ஸிஜன் என்ற இரு தனிமங்களாலும், நாம் பயன்படுத்தும் உப்பு- சோடியம், குளோரின் என்ற இரு தனிமங்களாலும், ஆல்கஹால் (சாராயம்)—ஹைட்ரஜன், ஆக்ஸிஜன், கார்பன் என்ற மூன்று தனிமங்களாலும் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன என்பது நமக்குத் தெரியும். சில பொருள்கள் ஒரே ஒரு தனிமம் அடங்கியுள்ளதாக வும் இருக்கலாம். எடுத்துக்காட்டாக தாமிரம், தங்கம், வெள்ளி, ஆக்ஸிஜன் வாயு போன்றவை.

ஒரு மூலக்கூறு என்பது பொருளின் குணங்களையெல்லாம் கொண்டிருக்கின்ற பொருளின் ஒரு சிறு கூறு ஆகும். ஆனால் இத் தனிமங்கள் எப்படிப்பட்டவை? இவை எவ்வாறு இருக்கின்றன? இவை எவற்றால் செய்யப்பட்டவை? இவற்றையெல்லாம் நோக்குவோமேயானால் ஒரு தனிமத்தின் மிகச் சிறிய பகுதியைக் காணநேரிடும். இச் சிறு பகுதியைத்தான் 'அணு' (Atom)

என்கிறோம். ஒவ்வொரு தனிமமும் வெவ்வேறு அணுக்களால் ஆனது.

அணு அமைப்பு

அணுவின் அமைப்பை முதன்முதலில் கண்டறிந்தவர் J. J. தாம்சன் ஆவார். இவர்தாம் பொருள்கள் யாவற்றிலும் எதிர் மின்னூட்டம் பெற்ற எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன என்ற உண்மையைக் கண்டுபிடித்தார். இந்த எலக்ட்ரான்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட சூழ்நிலையில் வெளியேறுவதை இவர் பரிசோதனை மூலம் மெய்ப்பித்தார். அணுக்கள் மின்னூட்டமில்லாது இருக்கின்றன; ஆனால் அவற்றில் எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன. எனவே, அணுவில் எலக்ட்ரான்களின் எதிர் மின்னூட்டங்களுக்குச் சமமான நேர் மின்னூட்டம் இருக்கவேண்டும் என்ற உண்மை வெளியாயிற்று. ஓர் அணுவில் எதிர் மின்னூட்டமும் நேர் மின்னூட்டமும் எவ்வாறு அமைந்திருக்கின்றன என்று காணுவது எளிதன்று. பல்வேறு அறிவியலார் இதற்குப் பல விளக்கங்களும், அமைப்பு மாதிரியும் தந்தனர். இவை படிப் படியாக வந்தன. ஓர் அணுவைப்பற்றி விளக்கும்போது அவை சில அடிப்படையான உண்மைகளை விளக்குவதாகவும் சில அடிப்படை விதிகளுக்கு உட்பட்டதாகவு மிருக்கவேண்டும்.

தாம்சன்தாம் அணுவின் அமைப்பை முதன்முதலில் விளக்கியவர். அவர் கூற்றுப்படி நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற ஒரு கோளத்தில் எலக்ட்ரான்கள் சமச்சீராகப் பொதிந்து வைக்கப் பட்டிருக்கின்றன. கோளத்தின் மொத்த நேர் மின்னூட்டம் எலக்ட்ரானின் மொத்த எதிர் மின்னூட்டத்திற்குச் சமமாயிருக்கிறது. இவற்றால் அணு மின்னூட்டமில்லாது தோன்றும் இந்த அணு அமைப்புப் பல்வேறு அடிப்படை உண்மைகளை விளக்க வில்லை. அதனோடு பல எலக்ட்ரான்கள் கொண்ட அணுவின் அமைப்பை இதன்படி விளக்க முடியவில்லை.

அடுத்து ரூதர்ஃபோர்டு என்பார் இப்போதுள்ள கரு அமைப் பைக் கொண்ட வடிவத்தைத் தந்தார். இவர் கூற்றுப்படி அணுவின் நேர் மின்னூட்டம் முழுவதும் அணுவின் நடுப்பகுதியில் செறிந்திருக்கிறது. இதுவே 'அணுக்கரு' எனப்படுகிறது. இதைச் சுற்றி எலக்ட்ரான்கள் வட்டப்பாதைகளில் ஆங்காங்கே அமைந் துள்ளன. எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் கருவில் நேர் மின்னூட்டங்களின் எண்ணிக்கையும் சமமாயிருக்கின்றன. இந்த அமைப்புக்கூட எல்லா அடிப்படை உண்மைகளையும் விளக்கிக்

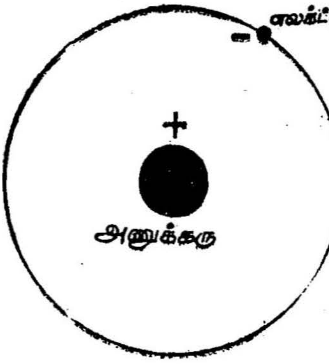
கூறுவதாக இல்லை, அதனோடு நீலை மின்னியல் விதிகளுக்கு உட்பட்டதாகவும் அமையவில்லை.

இதனையடுத்து நீல்ஸ்போர் என்பவர் இன்று ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்டுள்ள அணுவின் அமைப்பை விளக்கமாகக் கூறினார். இவர் கூற்றுப்படி அணுவின் அமைப்பு ரூதர்போர்டு கூறியபடியே யிருந்தது. ஆனாலும், சில மாறுதல்களைத் தற்கோள்களாகக் கொண்டிருந்தது. இதன்படி அணுவின் நடுப் பகுதியில் எல்லா நேர் மின்னூட்டங்களும் செறிந்திருக்கின்றன. இதைச்சுற்றிப் பல எலக்ட்ரான்கள் வெவ்வேறு வட்டச் சுற்றுப்பாதைகளில் சுற்றி வருகின்றன. நேர் மின்னூட்டங்கொண்ட நடுப்பகுதி 'அணுக் கரு' எனப்படுகிறது. இதிலுள்ள நேர் மின்னூட்டம் பெற்ற துகள்கள் 'புரோட்டான்கள்' (Protons) எனப்படுகின்றன. இந்தப் புரோட்டான்களின் எண்ணிக்கையும் சுற்றுப்பாதைகளில் சுற்றிவரும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் சரிசமமாய் இருக்கவேண்டும். இதனால் கருவின் மொத்த நேர்மின்னூட்டமும் எலக்ட்ரான்களின் மொத்த எதிர் மின்னூட்டமும் ஒன்றை யொன்று சரிசெய்துவிடுகின்றன. எனவே, அணு மின்னூட்ட மற்று இருக்கிறது.

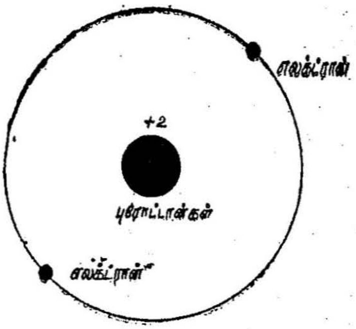
ஹைட்ரஜன் அணுதான் இருப்பதிலேயே மிகமிக எளிய அணு. இதன் கருவில் ஒரேஒரு நேர் மின்னூட்டங் கொண்ட புரோட்டான் இருக்கிறது. இதனைச் சுற்றி ஒரே ஓர் எலக்ட்ரான் வட்டமான சுற்றுப்பாதையில் சுற்றிவருகிறது. இது படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இந்தப் படம் [1, 1(a)] அணு அமைப்பைத் தெளிவாகப் புரிந்துகொள்வதற்கு ஏற்படுத்திக் கொள்ளப்பட்ட அமைப்பு மாதிரியேயாகும். இன்றைய முன்னேறிய கோட்பாடு களின்படி எலக்ட்ரான் இவ்வாறு உண்மையிலேயே சுற்றி வருகிறதா என்று கேட்டால், அதற்கு விடையளிக்க முடியாது. அடுத்துள்ள படம் [1.1(b)] ஒரு ஹீலியம் அணுவின் அமைப்பைக் காட்டுகிறது. இது ஹைட்ரஜனுக்கு அடுத்த தனிமம். இதன் கருவில் இரு நேர் மின்னூட்டங்களுள்ளன. எனவே, சுற்றுப்பாதை யிலும் இரு எலக்ட்ரான்கள் இருக்கவேண்டும். இவ்வாறு ஒவ்வோர் அணுவின் அமைப்பையும் சொல்லிக்கொண்டே செல்லலாம். கருவிலுள்ள நேர் மின்னூட்டங்களின் எண்ணிக்கை உயர உயர எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் உயர்ந்துவிடும். இந்த எலக்ட்ரான்கள் எல்லாமே ஒரேபாதையில் சுற்றுவதில்லை.

அணுக்கருவைச் சுற்றிவரும் எலக்ட்ரான்கள் குறிப்பின்றி எந்தச் சுற்றுப்பாதையிலும் சுற்றுவதில்லை, இவை குறிப்பிட்ட

சுற்றுப் பாதைகளில் மட்டும்தான் சுற்றிவர இயலும். இது 'குவான்டம் நிபந்தனை' எனப்படுகிறது. இவ்வாறு குறிப்பிட்ட சுற்றுப்பாதைகள் 'குவான்டம் சுற்றுப்பாதைகள்' எனப்படும். இந்தக் குவான்டம் சுற்றுப்பாதைகளில்தாம் எலக்ட்ரான்கள் சுற்றி வரும்; மற்றப் பாதைகளில் சுற்றிவரா. அடுத்துள்ள லித்தியம் அணுவை [படம் 1.2 (a)] எடுத்துக்கொள்வோம். இதன் கருவில் மூன்று புரோட்டான்கள் உள்ளன. ஆகவே, இதனைச் சுற்றி மூன்று எலக்ட்ரான்கள் இருக்கும். மூன்று எலக்ட்ரான்களில் முதலிரண்டு எலக்ட்ரான்கள் முதல் சுற்றுப்பாதையில் சுற்றி வருகின்றன. மூன்றாவது எலக்ட்ரான் இரண்டாவது சுற்றுப்பாதைக்கு வந்து விடுகிறது. ஏனெனில், ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையுள்ள எலக்ட்ரான்கள் மட்டும்தான் ஒரு குறிப்பிட்ட பாதையில் சுற்றிவர முடியும். இரண்டாவது சுற்றுப்பாதை, கருவிலிருந்து முதல்



படம் 1.1 (a)
ஹைட்ரஜன் அணுவின் அமைப்பு



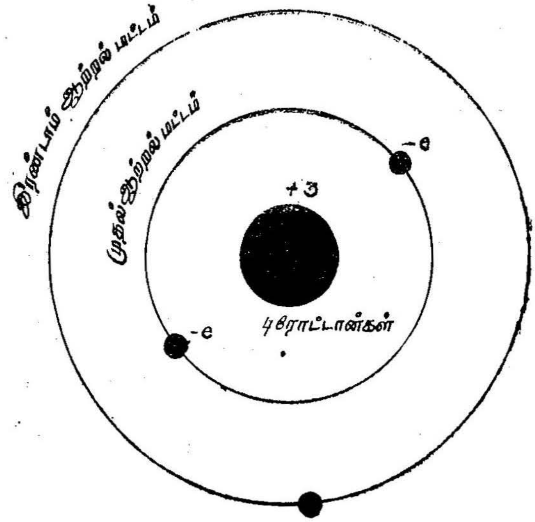
படம் 1.1 (b)
ஹீலியம் அணுவின் அமைப்பு

சுற்றுப்பாதையைவிடத் தொலைவிலிருக்கும். முதற் சுற்றுப்பாதையிலுள்ள இரு எலக்ட்ரான்களும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும். இதேபோன்று இரண்டாவது சுற்றுப்பாதையிலுள்ள எலக்ட்ரான்களும் அதற்கென்று ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும். வேறுவகையில் சொன்னால் ஒவ்வொரு குவான்டம் சுற்றுப்பாதைக்கும் தனித்தனியான ஆற்றல் அளவுகள் உண்டு. எலக்ட்ரான்கள் எந்தச் சுற்றுப்பாதையில் சுற்றி வருகின்றனவோ, அந்தப் பாதைக்குரிய ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும்.

முன்பு கூறியபடி ஓர் அணுக்கருவைச் சுற்றிப் பல குவான்டம் சுற்றுப்பாதைகள் இருக்கலாம். இவை ஒவ்வொன்றிற்கும் தனித் தனி ஆற்றல் அளவுகள் உண்டு. இவை ஒவ்வொன்றும் ஒரு குறிப்

பிட்ட எண்ணிக்கையுள்ள எலக்ட்ரான்களைத்தாம் கொண்டிருக்க முடியும். அதாவது இவற்றின் எலக்ட்ரான் கொள்ளளவு தீர்மானிக்கப்பட்டது. முதல் குவான்டம் சுற்றுப்பாதையில் இரண்டு எலக்ட்ரான்கள்தாம் இருக்கமுடியும். இரண்டாவதில் எட்டு எலக்ட்ரான்களும், மூன்றாவதில் பதினெட்டு எலக்ட்ரான்களும் இருக்க முடியும். இந்தக் குவான்டம் சுற்றுப்பாதைகளை $1, 2, 3, 4, \ldots\ldots\ldots\ldots n$ என்ற எண்களால் குறிக்கலாம். இது 'சுற்றுப்பாதை எண்' அல்லது 'சுற்றுப்பாதைக் குவான்டம் எண்' எனப்படுகிறது.

எலக்ட்ரான்கள் இந்தக் குவான்டம் சுற்றுப்பாதைகளில் அல்லது நிலைகளில் இடம்பெறும்போது முதலில் முதல் சுற்றுப்

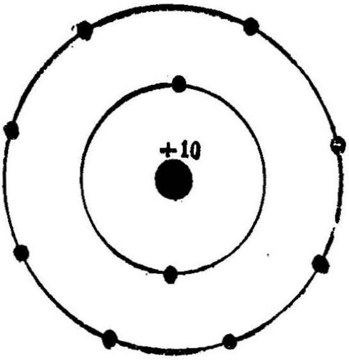


படம் 1.2 (a)
லித்தியம் அணுவின் உள் அமைப்பு

பாதைதான் நிரப்பப்படும். இவ்வாறு குவான்டம் நிலை வரிசையாக ஏறுவரிசையில் நிரப்பப்படும். எலக்ட்ரான்கள் கீழ்க் குவான்டம் நிலைகள் காலியாயிருக்க மேல் குவான்டம் நிலைகளில் இடம் பெற்றிரா. அதனோடுகூடக் கீழ்க் குவான்டம் நிலைகளின் ஆற்றல் அளவு மேல் நிலைகளைவிடக் குறைவாகவேயிருக்கும். இந்த ஆற்றல்கள்கூடக் குவான்டம் நிலைகளின் ஏறுவரிசையில் படிப்படியாக அதிகரித்துக்கொண்டே செல்லும். எடுத்துக்காட்டாக சோடியம் அணுவில் பதினொன்று எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன.

இவற்றில் முதலிரண்டு எலக்ட்ரான்கள் முதல் குவான்டம் நிலையிலும். அடுத்து எட்டு எலக்ட்ரான்கள் இரண்டாம் குவான்டம் நிலையிலும், மீதமுள்ள ஓர் எலக்ட்ரான் மூன்றும் குவான்டம் நிலையிலும் இடம்பெறும். இப்போது முதலிரண்டு சுற்றுப் பாதைகளும் அவற்றிற்குரிய கொள்ளளவு எலக்ட்ரான் எண்ணிக்கையைப் பெற்றிருப்பதால் அவை 'முழுவதும் நிரப்பப்பட்ட' அல்லது 'முழுமையுற்ற குவான்டம் நிலைகள்' எனப்படும். மூன்றுவது குவான்டம் நிலையில் பதினெட்டு எலக்ட்ரான்கள் இடம்பெற முடியும். ஆனால், இதில் ஒன்றே ஒன்றுதான் இருக்கிறது. இது 'நிரப்பப்படாத குவான்டம் நிலை' எனப்படும்.

முழுவதும் நிரப்பப்பட்ட குவான்டம் நிலைகளையுடைய தனிமங்கள் வேதியியல் செயலின்றி யிருக்கும். இவை மற்றத் தனிமங்களோடு இணைதிறப் பிணைப்புக் கொண்டு வேதியியல் செயல் புரியா. எடுத்துக்காட்டாக ஹீலியம், நியான், ஆர்கான், கிரிப்டான் முதலிய மந்த வாயுக்களைச் (inert gases), சொல்லலாம். ஹீலியம் அணுவில் இரண்டு எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன. இவை முதல் குவான்டம் நிலையை முழுவதும் நிரப்பி விடுகின்றன, இதே போன்று நியான் அணுவில் பத்து எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன. இவை முதலிரண்டு குவான்டம் நிலைகளை முழுவதும் நிரப்பிவிடுகின்றன (2, 8-எலக்ட்ரான்கள்). இவ்வாறு முழுவதும் நிரப்பப்பட்ட குவான்டம் நிலைகளையுடைய தனிமங்கள் வேதியியல் செயலற்ற தனிமங்களாகும். முழுவதும் நிரப்பப் படாத குவான்டம் நிலைகளையுடைய தனிமங்கள் மற்றத் தனிமங்களோடு இணைதிறப்பிணைப்பை ஏற்படுத்திக்கொண்டு வேதியியல் செயல் புரிகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, சோடியம் அணுவையே கொள்வோம். இதில் முதலிரண்டு குவான்டம் நிலைகளும் நிரம்பி யிருக்க மூன்றுவது குவான்டம் நிலையில் ஒரே ஓர் எலக்ட்ரான் இருக்கிறது. நிரப்பப்படாத மூன்றுவது குவான்டம் நிலையிலுள்ள இந்த எலக்ட்ரானுல்தான் சோடியம் அணு மிகுந்த வேதியியல் செயல்கொண்டதாக இருக்கிறது. சோடியம் அணு நிரப்பப் படாத குவான்டம் நிலையிலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரானைக் கொடுத்து விட்டு முழுவதும் நிரப்பப்பட்ட அல்லது முழுமையுற்ற நியான்



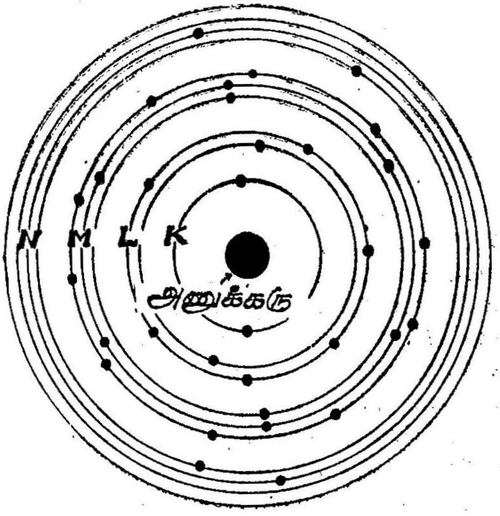
படம் 1.2 (b)
நியான் அணுவின் அமைப்பு

வாயு அமைப்புக்கு வந்துவிட எப்போதும் முயன்றுகொண்டே யிருக்கும். நிரப்பப்படாத நிலையிலிருக்கும் இந்த எலக்ட்ரான்தான் வேதியியல் செயல் தோன்றக் காரணமாயிருக்கிறது. அதாவது, அடுத்த அணுக்களோடு அல்லது தனிமங்களோடு இணைந்து பிணைப்புத் தோன்றக் காரணமாகிறது. எனவே தான், நிரப்பப்படாத குவான்டம் நிலையிலுள்ள இந்த எலக்ட்ரான் 'இணை திற எலக்ட்ரான்' (valency electron) அல்லது தனி எலக்ட்ரான்' (free electron) எனப்படுகிறது. நிரப்பப்படாத குவான்டம் நிலையிலுள்ள இந்த எலக்ட்ரான்கள்தாம் இணை திறத்தைத் (valency) தீர்மானிக்கின்றன. இவ்வாறு பல்வேறு எலக்ட்ரான்களுடைய தனிமங்களின் எலக்ட்ரான் அமைப்பைக் கொண்டு அவற்றின் வேதியியல் செயல்களை—இணைதிறச் செயல்களை—தெளிவாக விளக்கலாம்.

குவான்டம் நிலைகளை 1, 2, 3, ...*n* என்று எண்ணிக்கை இடுவதற்குப் பதிலாக அவை முறையே *K*-கூடு, *L*—கூடு *M*—கூடு .... என்று பெயரிடப்பட்டுள்ளன. முதல் குவான்டம் நிலைக்கு *K*—கூடு என்றும், இரண்டாவது குவான்டம் நிலைக்கு *L*—கூடு என்றும் வரிசையாகப் பெயரிடப்பட்டுள்ளன. மேலும், இந்த ஒவ்வொரு கூடும் (குவான்டம் நிலையும்) பல்வேறு உட்கூடு களாகப் (Sub-shells) பிரிக்கப்பட்டுள்ளது. இவை அடுத்துள்ள படத்தில் (1.3) காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. *K*-கூட்டில் ஒரேஒரு கூடு தான் இருக்கும். *L*—கூடு இரு உட்கூடுகளாகப் பிரிக்கப்பட்டிருக் கிறது. இதே போன்று *M* கூடு மூன்று உட்கூடுகளாகவும், *N*-கூடு நான்கு உட்கூடுகளாகவும் பிரிக்கப்பட்டிருக்கும். அதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றலையுடைய ஒவ்வொரு குவான்டம் நிலையும் தனித்தனிச் சிறுசிறு ஆற்றல் மட்டங்களாகப் (energy levels) பிரிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. *K*-கூட்டில் ஒரேஓர் ஆற்றல் மட்டம் தான் உண்டு. இது *s*-ஆற்றல் மட்டம் எனப்படும். *L*-கூட்டில் இரண்டு ஆற்றல் மட்டங்கள் உண்டு. இவை முறையே *s*-ஆற்றல் மட்டம், *p*-ஆற்றல் மட்டம் எனப்படும். இதேபோன்று *M*-கூட்டில் முறையே *s*, *p*, *d* ஆகிய மூன்று ஆற்றல் மட்டங்க ளுள்ளன. இந்த ஆற்றல் மட்டங்களைக்கொண்டு ஓர் எலக்ட்ரானை மற்றதிலிருந்து வேறுபடுத்திக் கூறமுடியும். ஓர் எலக்ட்ரான் முதல் குவான்டம் நிலையில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இதன் ஆற்றல் மட்டம் *s*-ல் இருக்கும். எனவே இதை 1*s* எலக்ட்ரான் எனச் சொல்லலாம். இது முதல் குவான்டம் நிலையில் *s*-ஆற்றல் மட்டத்திலிருக்கின்ற எலக்ட்ரான் என்று பொருள்படும். இதே போன்று மற்றோர் எலக்ட்ரான் இரண்டாவது குவான்டம் நிலையில் *p*-ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்தால் இது 2*p*-எலக்ட்ரான்

என்று சொல்லப்படுகிறது. இந்த உட்கூடுகள் ஆற்றல் மட்டங்களின் குறிப்பீடு (representation) ஆகும். எலக்ட்ரான்கள் ஆற்றல் மட்டங்களில் நிரம்பும்போதும் வரிசையாக s, p, d-வரிசையில் நிரம்பிக்கொண்டேதான் வரும்.

முதல் குவான்டம் நிலையில் இரண்டு எலக்ட்ரான்கள்தாம் இருக்கமுடியும் என்று சொல்லப்பட்டது. இவையிரண்டும் s-ஆற்றல் மட்டத்தில்தான் உள்ளன. இவற்றை எவ்வாறு பிரித்தறிவது? தற்சுழற்சியின் அடிப்படையில் இவை வேறுபடுத்தி அறியப்படுகின்றன. இவையிரண்டில் ஓர் எலக்ட்ரான் ஒருபுறம் தற்சுழற்சியையும், மற்றது எதிர்ப்புறம் தற்சுழற்சியையும்



படம் 1.3.
அணு அமைப்பில் பல்வேறு உட்கூடுகளும், உட்கூடுகளில் எலக்ட்ரான்களின் அமைப்பும்

கொண்டிருக்கும். எனவே, முதல் குவான்டம் நிலையில் எதிரெதிர் தற்சுழற்சியுடைய இரண்டு எலக்ட்ரான்கள் மட்டுமே இருக்கின்றன. இதேபோன்று $2s$- ஆற்றல் மட்டத்தில் இரண்டு எலக்ட்ரான்களும், $2p$- ஆற்றல் மட்டத்தில் ஆறு எலக்ட்ரான்களுமாக இரண்டாவது குவான்டம் நிலை எட்டு எலக்ட்ரான்களால் முழுவதும் நிரப்பப்படும். இவ்வாறே மூன்றும் குவான்டம் நிலைகளிலுள்ள ஆற்றல் மட்டங்களிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையையும் விளக்கலாம்.

குவான்டம் சுற்றுப்பாதை—கூடுகள் (shells), உட்கூடுகள் (sub-shells) ஆகியவைகளெல்லாம்—கருவைச் சுற்றியுள்ள எலக்ட்ரான்களின் வெவ்வேறு ஆற்றல் அளவீடுகளைக் குறிக்கின்ற குறிப்பீடுகள்தாம். ஆற்றல் மட்டத்தின் அடிப்படையில் இவை எவ்வாறு செயற்படுகின்றன என்பது பின்வரும் 'ஆற்றல்பட்டைக் கோட்பாடு' என்ற தலைப்பில் மிக விரிவாக எடுத்துக் கூறப்பட்டுள்ளது.

நிரப்பப்படாத வெளிக்கூட்டிலுள்ள இணைதிற அல்லது தன்னியல் எலக்ட்ரான்கள்தாம் வேதியியல் செயலுக்குக் காரணமானவை என்று கூறப்பட்டது. இதே தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்கள் தாம் வெப்பக்கடத்தலுக்கும் மின்கடத்தலுக்கும் காரணமாகின்றன. இந்த எலக்ட்ரான்களைத் தேவையான அளவு ஆற்றலைக் கொடுத்து அணுவைவிட்டே வெளியேற்றிவிட முடியும். இதைத்தான் 'அய்னியாக்கல்' (Ionisation) என்கிறோம். இவ்வாறு வெளியேறிய எலக்ட்ரான்களைத்தாம் J. J. தாம்சன் முதன் முதலில் கண்டறிந்தார். இந்த இணைதிற எலக்ட்ரான்கள் மின் கடத்தலில் பெரும்பங்கு வகிக்கின்றன. கருவைச்சுற்றி முழுதும் நிரப்பப்பட்ட கூடுகளையுடைய இணைதிற அல்லது தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்கள் இல்லாத அணுக்களாலான எந்த ஒரு பொருளும் மின்கடத்தாப் பொருளாகவே யிருக்கும். இதற்கு மாறாக வெளிக்கூட்டில் இணைதிற எலக்ட்ரான்களைக் கொண்டுள்ள பொருள்கள் மிக நல்ல மின்கடத்திப் பொருள்களாகச் செயல்படும். தாமிரம் ஒரு நல்ல எடுத்துக்காட்டு. இதன் அணு எண் 29. ஆகவே, கருவைச்சுற்றி 29 எலக்ட்ரான்கள் இருக்கும். இந்த 29 எலக்ட்ரான்களில் 28 எலக்ட்ரான்கள் முதல் மூன்று குவான்டம் நிலைகள் முழுவதும் நிரப்பிவிடும் (2, 8 & 18). மீதமுள்ள ஓர் எலக்ட்ரான் நான்காவது குவான்டம் நிலையில் முதல் உட்கூட்டில் (4s எலக்ட்ரான்) இருக்கும். இந்த ஓர் எலக்ட்ரான் மிக எளிதாக நகரக்கூடியது; தன்னியல்பு கொண்டது. மிகக் குறைந்த ஆற்றலைக் கொடுத்தே இதை அணுவிலிருந்து வெளியேற்றிவிடலாம். இந்த எலக்ட்ரான் மின்கடத்தலில் பெரும் பங்கு வகிக்கக்கூடியது. எனவேதான் தாமிரம் ஒரு மிக நல்ல மின்கடத்தியாக—நற்கடத்தியாக இருக்கிறது

வினாக்கள்

1. J. J. தாம்சனின் அணு அமைப்புக் கொள்கையை விவரித்து எழுது.
2. நீல்ஸ்போர் குவான்டம் கொள்கையின் அடிப்படையில் அணுவின் அமைப்பை எவ்வாறு விவரித்தார் ?

3. பல்வேறு எலக்ட்ரான்களையுடைய தனிமங்களின் எலக்ட்ரான் அமைப்பைக்கொண்டு அவற்றின் வேதியியல் செயல்களை— இணைதிறச் செயல்களைத் தெளிவாக விளக்கவும்.

4. தாமிரம் ஒரு நற்கடத்தியாக இருக்கிறது என்பதைத் தெளிவு படுத்துக.

5. ஓர் ஒற்றை ஹைடிரஜன் அணுவை அயனியாக்கத் தேவைப் படும் ஆற்றலை எலக்ட்ரான் வோல்ட்டில் போர்க் கொள்கை யைப் பயன்படுத்திக் கணக்கிடு.

6. ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகிய இரு தனித்த அணுக்களில் வெளிச் சுற்றிலுள்ள எலக்ட்ரானின் (n, l, m, s) குவான்டம் எண்களை எழுது.

[எல்லா எலக்ட்ரான்களும் மிகக் குறைந்த ஆற்றல் நிலையி லிருப்பதாகக் கொள்ள வேண்டும்].

7. போர்க் கொள்கையின் அடிப்படையில் ஹைட்ரஜன் அணுவி லுள்ள எலக்ட்ரானின் தொடுகோட்டு வேகத்தையும் (Tangential velocity), கோண வேகத்தையும் (Angular velocity) கணக்கிடு.

8. போர் அணுவில் முதல், இரண்டாவது, மூன்றாவது சுற்றுப் பாதைகளிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றலை ஜூல்கள் அல்லது எலக்ட்ரான் வோல்ட்டுகளில் கணக்கிடு.

2. குறைகடத்திப் பொருள்கள்

குறைகடத்திப் பொருள்கள்—அறிமுகம்

குறைகடத்தி என்ருலே மின்கடத்தாப் பொருளைவிட மிகுதியான கடத்துதிறனையும் ஆனுல் உலோகங்களைவிடக் குறைந்த கடத்துதிறனையும் உடைய பொருள் என்று ஆகும். ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் என்ற இரு தனிமங்கள்தாம் குறைகடத்திக் கருவிகளில் மிகவும் பயன்படும் பொருள்களாகும். இவற்றின் கடத்துதிறன் அறை வெப்பநிலையில் ஏறத்தாழ ஒரு மீட்டருக்கு 2மோ (2 mho/meter) என்ற அளவில் இருக்கும். அதே நேரத்தில் மிக நல்ல கடத்தியான தாமிரத்தின் கடத்துதிறன் மீட்டருக்கு 5×10^5 மோ (5×10^5 mho/meter) ஆகும். மின் கடத்தாப் பொருளான கண்ணுடியின் கடத்துதிறன் மீட்டருக்கு 1 மைக்ரோ மோவுக்கும் குறைவாயிருக்கக் காணலாம். இக் குறைகடத்திகளின் குறைந்த கடத்துதிறன்களின் அடிப்படையில் பல்வேறு ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்பட்டுக் குறைகடத்தி டயோடுகளும், டிரான்சிஸ்டர்களும் தோற்றுவிக்கப்பட்டன. இவை மின் அணுத் துறையில் மிக அதிக அளவில் பயன்படுத்தப்பட்டன. வெற்றிடக் குழல்களை மாற்றீடு செய்யும் அளவுக்கு இப்போது பயன்படுத்தப் படுகின்றன.

ஒரு குறைகடத்தி டயோடு வெற்றிடக்குழல் டயோடுக்குச் சமமானது. வெற்றிடக்குழல் டயோடு எங்கெங்குப் பயன்படுத்தப் படுகிறதோ அங்கெல்லாம் இந்தக் குறைகடத்தி டயோடு பயன் படுத்தப்படலாம். இதேபோன்று ஒரு டிரான்சிஸ்டரானது ஒரு டிரையோடு வெற்றிடக் குழலுக்கு ஈடானது. எனவே இதை ஒரு பெருக்கியாக, அலையியற்றியாகப் பயன்படுத்தலாம். இந் நாள்களில் இத்தகைய குறைகடத்திக் கண்டுபிடிப்புகள் மிகுந்த அளவு முக்கியத்துவம் பெற்றுவருகின்றன.

படிகங்கள் (Crystals)

பல்வேறு பொருள்களில் அடங்கியுள்ள பருப்பொருள் (Matter)—திடப்பொருள், திரவம், வாயு ஆகிய மூன்று வெவ்வேறு நிலைகளில் உள்ளன எந்த ஒரு பொருளும் பலகோடி அணுக்களால்

அல்லது மூலக்கூறுகளால் ஆனதே. இவை ஒழுங்காக வரிசை வரிசையாக அமைந்திருக்கலாம். இந்த அணுக்கள் மூலக்கூறுகளுக் கிடையே ஒருவகை ஈர்ப்பு விசை செயற்படும். இந்த ஈர்ப்பு விசை பிணைப்பு விசை (binding force) என்று சொல்லப்படும். இந்தப் பிணைப்பு விசை பொருளுக்குப்பொருள் மாறுபடும். இந்தப் பிணைப்பு விசைகளால்தாம் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகள் ஒன்றைவிட்டு ஒன்று தள்ளிப் போகாமல் பிணைக்கப்பட்டிருக் கின்றன. இப் பிணைப்பு விசையின் அளவைப் பொறுத்துத்தான் பருப்பொருள் திடப் பொருளாகவோ, திரவமாகவோ அல்லது வாயுவாகவோ உருவம் பெறுகிறது. இந்தப் பிணைப்பு விசையின் அளவு மிகுந்திருப்பதால்தான் திடப்பொருள்களின் அணுக்களோ, மூலக்கூறுகளோ ஒன்றைவிட்டு ஒன்று தள்ளிச் செல்லாமல் பிணைக்கப்பட்டு நகராது இருக்கின்றன. எனவேதான், திடப் பொருளுக்குக் குறிப்பிட்ட உருவம் உள்ளது. திரவப்பொருள் களில் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகளுக்கிடையே இந்தப் பிணைப்பு விசை சிறிது குறைவாகவே இருக்கும். எனவே, திரவம் தனக்கென்று ஓர் உருவம் இல்லாது வைக்கப்படும் பாத்திரத்தின் உருவத்தைக் கொண்டிருக்கும். வாயுப்பொருள்களில் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகளின் அமைப்பு முற்றிலும் மாறுபட்டதாகவும், தன்னிச்சையாகவும் ஒழுங்கற்றும் (random) இருக்கும். இதனால் தான் வாயுக்கள் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்குத் தாமே செல்லக்கூடியவையாய் உருவமற்றவையாய் இருக்கின்றன.

திடப்பொருள்களிலேயே படிகப்பொருள்கள், படிகமற்ற பொருள்கள் என இருவகை உள்ளன. படிகப்பொருள்களில் அணுக்கள் மிக ஒழுங்காகக் குறிப்பிட்ட அமைப்புகளில் அமைந் திருக்கும்.

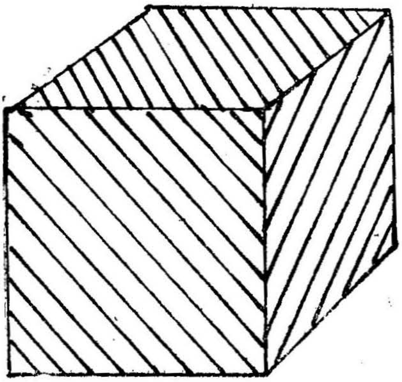
ஒரு படிகம் என்று சொன்னால் அதில் அணுக்கள் குறிப்பிட்ட புள்ளிகளில் ஒழுங்காக அடுத்தடுத்து அமைக்கப்பட்டிருக்கும் என்பது பொருள். இவற்றின் அமைப்பு ஓர் அச்சுத் தொகுப்பில் (Co-ordinate system) குறிக்கப்படும்படி அமைந்திருக்கும். இந்த அமைப்பு, படிகத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட வடிவ அமைப்பைக் (Pattern) கொடுக்கும்படி இருக்கும். இந்த வடிவ அமைப்பு அடுத்தடுத்து வரும்படி படிகத்தின் எந்தப்பக்கம் சென்றாலும் மீண்டும் மீண்டும் இதே அமைப்பு வரும்படி அமைந்திருக்கும். இவ்வாறு பல்வேறு சிறிய படிக அமைப்புகளால் அமைக்கப்பட்ட பெரிய படிகத்தைப் 'பல்படிகப் படிகம்' (Poly crystaline crystal) என்று சொல்லுகிறோம். இவற்றில் படிக அமைப்புகளுக்கிடையே மிகுந்த பிணைப்பு விசை இருக்கும். இதனால் படிக அமைப்புகள்

சேர்ந்து ஒரு சீரான திடப்பொருளைத்(Homogenious solid)தோற்று விக்கும். இத்தகைய பல்படிகப் பொருள்களில் உள்ள படிகங்கள் வெவ்வேறு 'இடமாறுபாட்டு அமைப்பு' களைக் (Spatial Orientations) கொண்டிருக்கும்.

ஒரு படிகத்தில் தனி முழுத்தன்மை இல்லையானல் அது 'முழுத்தன்மையற்ற படிகம்' (Inperfect crystal) என்று சொல்லப்படும். ஒரு தனிப் படிகத்தில் ஒரு சிறிது ஒரு வேதியியல் பொருள் தூசாகக் (Chemical impurity) கலக்கப்பட்டால் அப் படிகம் முழுத்தன்மையற்றதாகி விடுகிறது. இதேபோன்று ஒரு படிகத்திலிருந்து சில அணுக்களை நீக்கிவிட்டாலும்கூட அடிப்படை அமைப்பில் மாறுபாடுகள் தோன்றிக் காலியிடங்கள் தோற்று விக்கப்பட்டுப் படிகம் முழுத்தன்மையற்றதாகி விடும்.

படிகத்தின் அணிக்கோவை (Crystal lattice)

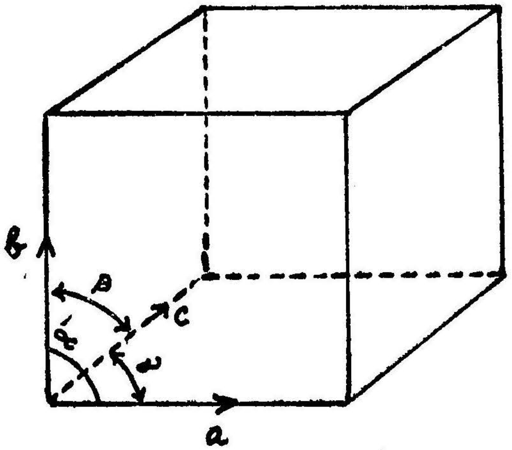
ஒரு படிகத்தின் வடிவமைப்பு படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் ஒரு முப்பரிமாண அணிக்கோவையாக அமைந்திருக்கக் காண லாம். இந்த மொத்தப் படிகத்தில் தனித்தனியான ஒரே அமைப்புடைய (identical) சிறிய அணிக் கோவை அறை (Lattice cell) போன்ற அமைப்புகள் இருக்கும். படம் 2.1-ல் இத்தகைய ஓர் அணிக் கோவை அல்லது வரிவடிவ அறை அமைப்புக் காண் பிக்கப்பட்டுள்ளது. இது நீள் சதுரப் பக்கத்தைக் கொண்டிருந்தாலும் இதே போன்று கன சதுரமும் இருக்கலாம். படம் 2.2-ல் ஒரு வைரத்தின் அணிக் கோவை அமைப்புக் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகிய படிகங்களும் இதேபோன்ற அமைப்பைத்தான் கொண்டிருக்கும். இதில் அணுக்கள் சிறிய கோளங்களாலும், பிணைப்புகள் இணைப்புச் சட்டங்களாலும் குறிக்கப்பட்டிருக் கின்றன. இந்தப் படத்திலிருந்து ஜெர்மேனியம் படிகத்தின் ஒவ்வோர் அணுவும் அதைச் சுற்றியுள்ள நான்கு அணுக்களுடன் இணைப்புச் சட்டங்களால் பிணைக்கப்பட்டிருப்பதைக் காணலாம்.



படம் 2.1 (a)
அறை அமைப்பு

அத்தோடு ஒவ்வோர் அணுக்கோவை அறை அமைப்பிலும் எட்டு அணுக்கள் இருக்கக் காணலாம்.

ஒரு தனிப் படிகத்தினுள் இந்த அலகு அறை அமைப்பு (Unit cell) அணிக்கோவையாக இருக்கும். இந்த அறை அமைப்புகளை வரிசையாக மூன்று x, y, z, திசைகளிலும் அடுத்தடுத்து வரிசையாக அடுக்கிக்கொண்டேபோனால் படிகம் உருவாகும். அலகு அறை அமைப்பானது இணைவகத் திண்மமாக (Parallelo piped) அமைந்திருக்கும். இது அணிக்கோவை அறை அமைப்பைவிடச்

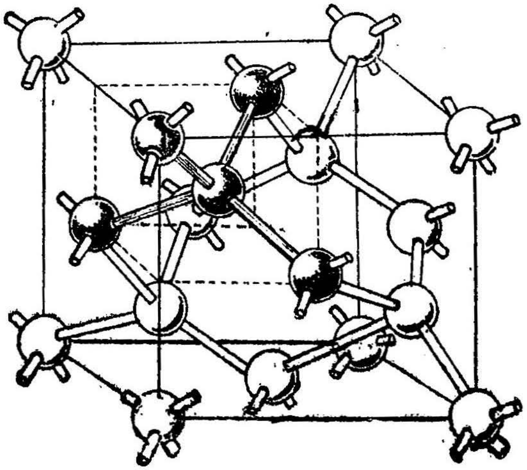


படம் 2.1 (b)
ஒற்றை அணிக்கோவை அறை

சிறியதாக இருக்கலாம். ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் போன்ற படிகங்களிலும் இதுபோன்றுதான் காணப்படும். ஜெர்மேனியத்தின் அல்லது சிலிக்கானின் ஓரலகு அறை அமைப்பில் இரண்டிரண்டு அணுக்கள்தாம் இருக்கும். இதன் கன அளவு வைரத்தின் ஓரலகு கன அளவின் நான்கில் ஒரு பகுதிதான் இருக்கும். படம் 2·3-ல் ஜெர்மேனியத்தின் ராம்போஹீட்ரல் அலகு காண்பிக்கப் பட்டுள்ளது.

ஒவ்வோர் அணிக்கோவை அறை அமைப்பிலும் வெவ்வேறு வடிவ அமைப்புகள் இருக்கக் காணலாம். அதாவது அணுக்கள் வெவ்வேறு விதமாக அமைக்கப்பட்டிருக்கும். இவைதாம் ஏழு தனித்தனி 'படிக அமைப்புகள்' (Crystal system) ஆகப் பிரிக்கப் பட்டிருந்தன. அதில் கனசதுரம் (Cube) என்பது ஒன்று, கனசதுர்

அணிக்கோவை அறை அமைப்பில் (cubic lattice cell) வெவ்வேறு வடிவ அமைப்புகள்-அணுக்களின் அமைப்புக்கு ஒப்பாக இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, வைரத்தின் வடிவ அமைப்பு இதுபோன்ற கன சதுர வடிவ அமைப்பில் ஒன்றாகும். மற்றவை ஸ்பைனல் (Spinel) வடிவ அமைப்பு, பெரோவ்ஸ்கைட் (Perovskite) வடிவ அமைப்பு, பொருள்மைய (body centered) வடிவ அமைப்பு, முகமை (face centered) வடிவ அமைப்பு முதலியன ஆகும். ஒரு படிகத்தின்



படம் 2.2
வைரத்தின் அணிக்கோவை அமைப்பு

அமைப்பானது அந்த நீள்சதுர கனத்தின் பக்க நீளங்களான a, b, c, அணிக்கோவை மாறிலிகள் (Lattice constants) ஆகியவற்றையும் α, β, γ, ஆகிய கோணங்களையும் பொறுத்து அமையும்.

படிகத்தின் அணுக்களின் இடையேயுள்ள வேதியியல் பிணைப்பைப் (Chemical binding) பொறுத்துப் படிகங்கள் கீழ்க் கண்டவாறு பிரிக்கப்படுகின்றன.

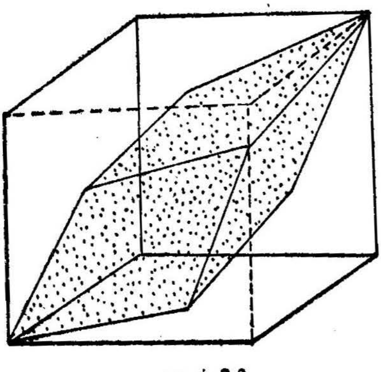
1. அயனிப் பிணைப்புடையவை (Ionic bonded)
2. இணைதிறப் பிணைப்புடையவை (Movalent bonded)
3. உலோகப் பிணைப்புடையவை (Metalic bonded)
4. மூலக்கூறு பிணைப்புடையவை (Molecular bonded)
5. ஹைட்ரஜன் பிணைப்புடையவை (Hydrogen bonded)

அயனிப்பிணைப்பு

அயனிப்பிணைப்பு என்பது எதிரெதிராக மின்னூட்டம் பெற்ற அயனிகளிடையே உள்ள நிலை மின்னியல் விசைகளால் (Electro static forces) தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இந்த அயனிப்பிணைப்பிற்கு சோடியம் குளோரைடு (Nacl) ஒரு நல்ல எடுத்துக் காட்டாகும். சோடியம் குளோரைடின் எளிய கனசதுர அணிக் கோவையில் நேர்மின்னூட்டம் கொண்ட சோடியம் அயனிகளும், எதிர்மின்னூட்டம் கொண்ட குளோரின் அயனிகளும் மாறிமாறி கனசதுரத்தின் மூலைகளில் அமைந்துள்ளன. எனவே, இவை அயனிப்பிணைப்பைப் பெற்றிருக்கின்றன.

இணைதிறப் பிணைப்பு

அடுத்தடுத்துள்ள இரு அணுக்கள் இரு எலக்ட்ரான்களைப் பகிர்ந்து கொள்ளும்போது இந்த இணைதிறப் பிணைப்பு தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இந்த இரு எலக்ட்ரான்கள் அணுக்களுக்கு இடையேயிருப்பதாகக் கொள்ளலாம். இந்த இடத்தில் எதிர்மின்னூட்ட அடர்த்தி மிகுந்திருக்கும். பிணைப்பு எலக்ட்ரான்களைப் (bond Electrons) பெற்றிராத அணுக்கரு - நேர் மின்னூட்டங் கொண்ட அணுக்கரு — இந்த எலக்ட்ரான்களை ஒரு விசையோடு கவர்ந்து இழுக்கும். இது தான் 'பிணைப்பு விசை' ஆகும். இத்தகைய இணைதிற பிணைப்புகள் மின்கடத்தாப் பொருள்களில் காணப்படுகின்றன. எடுத்துக்காட்டு : வைரம், சிலிக்கான் கார்பைடு போன்ற மின்கடத்தாப் பொருள்களாகும். குறைகடத்திகளான சிலிக்கான், ஜெர்மேனியம், இண்டியம், ஆன்டிமொனி போன்றவற்றிலும் இத்தகைய இணைதிறப் பிணைப்புகள் இருக்கக் காணலாம். இந்த இணைதிறப் பிணைப்பு குறிப்பிட்ட அணுக்களைப் பிணைக்கும் இணைப்புக் கட்டைகளாகப் படத்தில் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. படத்திலிருந்து அடுத்துள்ள இரு அணுக்கள் அவற்றிடையேயுள்ள இரு எலக்ட்ரான்களைப் பதில் கொள்வதைக் காணலாம். இது ஓர் இணைதிறப் பிணைப்பாகும்.



படம் 2.3.
ஒரு சாய்சதுர அறை அமைப்பு

உலோகப் பிணைப்பு

உலோகங்களில் ஏராளமான எலக்ட்ரான்கள் இங்குமங்கும் நகரும் வகையில் தனித்திருக்கின்றன. இவை படிக அமைப்பினுள் ஏறத்தாழ சீரான எதிர்மின்னூட்டத்தைத் தோற்றுவிக்கின்றன. இவற்றிடையேயும் அணுக்கருவிலுள்ள நேர் மின்னூட்டங்களிடையேயும் ஈர்ப்பு விசைகள் இருக்கும். இந்த ஈர்ப்பு விசைகள் தாம் அணுக்களைப் பிணைத்து வைத்திருக்கின்றன. இத்தகைய படிகங்கள் 'உலோகப்பிணைப்பு படிகங்கள்' எனப்படும்.

மூலக்கூறு பிணைப்பு

மீதேன், ஆர்கான் ஆகிய வாயுக்களின் திடநிலையில் (Solid) அணுக்கள் ஒன்றோடொன்று மூலக்கூறு பிணைப்புகளால் பிணைக்கப் பட்டிருக்கும். இவற்றிடையேயுள்ள நிலைமின்னியல் விசைகள் மிகக் குறைவாக இருக்கும். இவற்றை வாண்டர்வால் விசைகள் (Vander waal force) என்கிறோம். இவை அணுக்களின் மின் இருமுனை (Electri di-pole) திருப்புதிறனால் தோன்றுபவை. அணுக்களிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் நிலை தொடர்ந்து மாறிக் கொண்டே யிருப்பதால் இந்த விசை தோன்றுகிறது.

ஹைட்ரஜன் பிணைப்பு

பனிக்கட்டியைப் போன்ற படிகங்களில் ஒரு ஹைட்ரஜன் அணு இரண்டு அடுத்தடுத்துள்ள அணுக்களால் ஈர்க்கப்பட்டு ஒரு மூலக்கூறு தோன்றுகிறது. இதனிடையே ஒன்றுக்கொன்றான இணைப்பு விசைகள் மிகுதியாகின்றன. இத்தகைய பிணைப்பே 'ஹைட்ரஜன் பிணைப்பு' எனப்படும்.

குறைகடத்திப் படிகங்களின் நிறைவுறுநிலை (Imperfection of Semi conductor crystals)

ஒரு குறைகடத்தியின் நிறைவுற்ற உண்மையான தனிப்படிகம் எப்போதுமே உருவாவது இல்லை. படிகங்களில் பல்வேறு வகைகளில் பல்வேறு அளவுகளில் நிறைவுத்தன்மை உள்ளது. ஆனால் குறைகடத்திப் படிகத்தில் மட்டும் நிறைவுத்தன்மையுள்ள படிகங்கள் தோன்றுவதில்லை. படிகங்களில் தோன்றும் நிறைவுறுத் தன்மை கீழ்க்கண்ட காரணங்களால் தோன்றுகின்றன.

1. தனி எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும்
2. ஃபோனான்கள் (Phonons)
3. எக்சைட்டான்கள் (Exitans)

4. வேதியியல் தூசுகள் (Chemical impurities)

5. அணிக்கோவை குறைகளும், நிலைமாற்றங்களும்

எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும்

அணிக்கோவையில் தனித்த எலக்ட்ரான்களும் (எலக்ட்ரான்கள் நீக்கப்படுவதால் தோன்றும் காலியிடமான) துளைகளும் இருக்கும். இவை நிறைவுறுத்தன்மையைப் பொதுவாகத் தோற்றுவிக்கின்றன. இவற்றை, வெளியிலிருந்து வெப்ப ஆற்றலையோ அல்லது ஒளி ஆற்றலையோ கொடுத்துத் தோற்றுவிக்கலாம். இவ்வாற்றல்கள் இணைதிறப்பிணைப்புகளை உடைத்துவிடுகின்றன. இதனால் எலக்ட்ரான்களும், துளைகளும் தோன்றுகின்றன. இது பின்வரும் பகுதிகளில் விளக்கமாக விவரிக்கப்பட்டுள்ளது. எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும்தாம் குறைகடத்திக் கண்டுபிடிப்புகளில் மின்னூட்டத்தை எடுத்துச் செல்லும் முக்கிய ஊர்திகளாகச் (carriers) செயல்படுகின்றன.

ஃபோனான்கள்

'ஃபோனான்' என்பது குறிப்பிட்ட அளவு ஆற்றலின் அலகு ஆகும். அணிக்கோவை அதிர்வுகளில் ஒரு குறிப்பிட்டவகையில் தோன்றும் ஆற்றலை இந்த அலகில் (Unit) குறிப்பிடுவர். வெப்ப ஆற்றலானது மீள் அலைகளைத் (Elastic waves) தோற்றுவிக்கின்றன. எனவே, படிகத்தின் வெப்பநிலை உயரும்போது ஃபோனான்களின் எண்ணிக்கை உயருகிறது. இந்த ஃபோனான்கள் படிகத்தினுள்ளே நகர்ந்துவரும் எலக்ட்ரான்களையும் துளைகளையும் சிதறடிக்கக் கூடியவை. எனவே, இந்த ஃபோனான்கள் மின்னூட்ட ஊர்திகளின் (charge carriers) இயக்கத்தை மாற்றுகின்றன. எனவே, ஃபோனான்கள் படிகத்தின் நிறைவுறுத் தன்மைக்கு மற்றொரு காரணமாகும்.

எக்சைட்டான்கள்

'எக்சைட்டான்கள்' மின்னூட்டமற்ற நகரும் ஊர்திகள். இவை எலக்ட்ரான்கள் துளைகள் போலவே இடம்விட்டு இடம் நகரக்கூடியவை; ஆனால், மின்னூட்டத்தை எடுத்துச்செல்லாதவை. எனவே, இவை மின்னோட்டத்திற்கு எவ்விதத்திலும் உதவுவதில்லை. இருந்தாலும் ஆல்கலிஹேலைட்ஸ் (Alkalihalides) போன்ற பொருள்களில் ஒளியாற்றலை உட்கொள்ளும் குணத்தை வெளிப்படுத்துகின்றன. ஆனால் ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் போன்றவற்றில் எக்சைட்டான்கள் எந்தத் தொல்லையும் தருவதில்லை.

வேதியியல் தூசுகள்

இவை படிக அமைப்பில் தேவைக்காகவே கலக்கப்படும் வெளிவேற்றுப்பொருள் அணுக்களாகும். இந்த அணுக்கள் 'வேதியியல் தூசு' எனப்படும்.

ஒரு முழு நிறைவான படிகம் அல்லது முழுமையுற்ற படிகம் எவ்வாறிருக்க வேண்டுமென்று மேலே வரையறுத்துச் சொல்லப் பட்டது. இதன்படி, ஓர் உள்ளார்ந்த அல்லது தூய குறைகடத்தி (Intrinsic Semi conductor) ஒரு முழு நிறைவானதாக இருக்கலாம். அதாவது நிறையுரு நிலைகளின்றி இருக்கமுடியும். ஆனால், குறை கடத்தி தனிச்சுழி வெப்பநிலையில்தான் இவ்வாறு நிறைவுரு நிலை களின்றி இருக்கும். ஆனால் வழக்கத்தில் நிறைவுரு நிலைகளைப்பற்றி வேறுவிதமாக எண்ணலாம். இந்த நிறைவுரு நிலைகளை இருவித மாகப் பிரிக்கலாம். 1. தேவையான நமக்கு உதவக்கூடிய நிலைகள், 2. தேவையற்ற நிறைவுரு நிலைகள்.

(a) எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் (b) வேதியியல் தூசுகள் ஆகியவை தேவையான நிறைவுரு நிலைகளாகும். (a) அணிக் கோவைக் குறைகள் (b) நிலைமாறுபாடுகள் (c) பொது வேதியியல் தூசுகள் ஆகியவை தேவையற்ற நிறைவுருத்தன்மையின் கீழ் வருகின்றன. ஃபோனன்கள், எக்சைட்டான்கள் ஆகியவை களால் தோன்றும் நிறைவுரு நிலைகளுக்கு அவ்வாறு முக்கியத் துவம் கொடுக்கப்படுவதில்லை.

வேதியியல் தூசுகள் ஒரு முழுப் படிக அமைப்பில் நுழைந்து ஒரு கலப்பு உலோகத்தைத் தோற்றுவிக்கலாம். இந்தக் கலப்பு உலோகம் கீழ்க்கண்ட இரு முறைகளில் ஏதாவது ஒரு முறையில் தோற்றுவிக்கப்படும்.

1. படிகத்தின் அணிக்கோவையிலுள்ள ஓர் அணு உள்ளே செல்லும் தூசு அணு ஒன்றால் வெளியே தள்ளப்படும். அதனிடத் தில்—அதன் நிலையில் இந்தத் தூசு அணு இருந்து கொள்ளும். இத்தகைய தூசுகள் 'பதிலீட்டுத்தூசுகள்' (Substitutional impurities) எனப்படும்.

2. படிகத்தின் அணிக்கோவையில் இரண்டு அணுக்களுக் கிடையேயுள்ள சிறிய இடத்தில் ஒரு தூசு அணு சென்று இருந்து கொள்ளலாம். இவ்வாறு தூசு அணு படிக அணுக்களின் இடை யேயுள்ள சிறிய இடைவெளியில் அமர்ந்துகொள்ளும் அமைப்பிற்கு 'சந்துகளில் உள்ள தூசுகள்' (Interstitial impurities) என்று பெயர்.

பதிலீட்டுத் தூசுகள் அணிக்கோவை அமைப்பில் எந்த விதமான மாற்றத்தையும் தோற்றுவிக்காது. பொதுவாகவே சிலிக்கான், ஜெர்மேனியம் ஆகியவற்றில் கலக்கப்படும் தூசு அணுக்கள் இத்தகைய பதிலீட்டுத் தூசுகளாகவே இருக்கின்றன. தனிம அட்டவணையில் மூன்றுவது, நான்காவது தொகுதியிலுள்ள தனிமங்கள் இத்தகைய பதிலீட்டுத் தூசுகளாகச் செயல்படுகின்றன. இருந்தாலும் இணைதிறப் பிணைப்பு சிலநேரங்களில் உடைக்கப்படுகின்றன. ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகியவற்றின் கலப்பு உலோகங்கள் இதைவிட நல்ல பதிலீட்டு அமைப்பைத் தோற்றுவிக்கின்றன.

சந்துத் தூசு அணுக்கள்

இவை தேவையற்ற தூசுகளாகவே அமைகின்றன. பதிலீட்டுத் தூசுகளோ அல்லது சந்துத் தூசுகளோ ஒரு படிகத்தில் அது வளரும்போதோ அல்லது அதற்குப் பிறகோ அதனுள்ளே நுழைக்கப்படுகின்றன.

இவ்வாறு தூசு அணுக்கள் ஒரு குறைகடத்தியின் படிக அமைப்பினுள் நுழைக்கப்படும் செயலுக்கு 'கலப்பு' (dopuig) என்று பெயர்.

குறைகடத்திகளைத் தூய்மைப்படுத்தல்

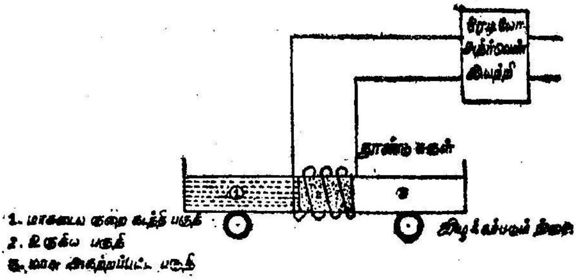
டிரான்சிஸ்டர்களும் குறைகடத்தி டயோடுகளும் தயாரிக்கப் படும்போது அவற்றின் அடிப்படைப் பொருள்களான குறை கடத்திப் பொருள்கள் மிகமிக தூயதாக இருக்கவேண்டும். பொதுவாகச் சந்தி டிரான்சிஸ்டர்களும் (junction Transistor) டையோடுகளும் சிலிக்கான், ஜெர்மேனியம் ஆகிய இரு அடிப் படைக் குறைகடத்திப் பொருள்களால்தான் செய்யப்படுகின்றன.

சிலிக்கான் என்பது மிகவும் எளிதாகக் கிடைக்கக்கூடிய தனிமம். இது உலகில் மணலாகக் கிடைக்கிறது. ஆனால், டிரான் சிஸ்டர் செய்வதற்குத் தகுந்ததாக அதை மாற்றுவது மிகவும் கடினமானதாகும். அத்தோடு மிகுந்த செலவும் ஆகும். இருந் தாலும் சிலிக்கான் டிரான்சிஸ்டர்கள் உற்பத்தி செய்யப்பட்டுப் பல்வேறு கருவிகளில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. சிலிக்கானைத் தூய்மைப்படுத்துவதற்கு மிகுந்த செலவு ஆனாலும் சிலிக்கான் டிரான்சிஸ்டர்கள் மிக உயர்ந்த குணங்களைக் கொண்டிருப்பதால் அவை பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

ஜெர்மேனியத்தை மிக எளிதாகத் தூயதாக்கலாம். அதனால் தான் பெரும்பாலான டிரான்சிஸ்டர்கள் ஜெர்மேனியத்தில்

செய்யப்படுகின்றன. முதன்முதலில் ஜெர்மேனிய டிரான்சிஸ்டர்களும் டையோடுகளும்தான் செய்யப்பட்டு உபயோகத்திற்கு வந்தன. டிரான்சிஸ்டர்களும், டையோடுகளும் தயாரிப்பதற்குத் தேவையான ஜெர்மேனியம், ஜெர்மேனியம்—டை—ஆக்ஸைடிலிருந்து பெறப்படுகிறது. ஜெர்மேனிய-டை—ஆக்ஸைடு ஒரு வெண்மையான தூளாகும்.

முதலில் ஜெர்மேனியம்-டை-ஆக்ஸைடு உருக்கப்பட்டுக் குழம்பான பொருளாக்கப்படுகிறது. இந்தக் குழம்பு ஹைட்ரஜன் உள்ள அறையில் வைக்கப்படுகிறது. இதனால் ஜெர்மேனிய-டை-ஆக்ஸைடிலுள்ள ஆக்ஸிஜன் குறைப்பு முறையில் (Reduction method) நீக்கப்படுகிறது. இதன்மூலம் வெறும் ஜெர்மேனியம் கிடைக்கும். இந்த ஜெர்மேனியம் டிரான்சிஸ்டர் செய்யும் அளவிற்குத் தூயதாக இருக்காது. இதை வேதியியல் முறையில் மேலும் தூயதாக்கலாம். ஆனாலும் டிரான்சிஸ்டர் செய்யத் தேவையான ஜெர்மேனியத்தின் தூய்மை கிடைக்காது. எனவே,



படம் 2.4
மண்டல மாசகற்றும் முறை

இறுதியாக 'மண்டலத் தூய்மை' (Zone Refining) என்ற முறையில் ஜெர்மேனியம் தூய்மைப்படுத்தப்படுகிறது. இந்தத் தனிச் செய்முறை ஏறத்தாழ எல்லாத் தூசுகளையும் ஜெர்மேனியத்திலிருந்து நீக்கி அதை மாசற்றதாக்குகிறது. ஆனாலும் ஒரு சில ஆக்ஸிஜன் அணுக்கள் நீங்காது நின்றுவிடலாம்.

மண்டல மாசகற்று முறையின் அடிப்படை மிக எளிதானது. உருகிக் குழம்பு வடிவிலுள்ள ஒரு குறைகடத்திப் பொருள் குளிர்ந்து படிப்படியாகத் திடப்பொருளாக உறையும்போது அதிலுள்ள தூசுகள் குழம்புப் பகுதிக்கு நகர்ந்துசென்று விடுகின்றன. இதனால், திடப்பொருளாக உறைந்த குறைகடத்தி மாசற்றதாகிறது. மண்டல மாசகற்று முறை படம் 2.4-ல் காட்டப்

பட்டுள்ளது. இதில் ஒரு நீண்ட கிண்ணத்தில் ஜெர்மேனியம் நீண்ட தண்டுவடிவத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. கிண்ணத்தின் நடுப்பகுதியின்மேல் ஒரு தூண்டு சுருள் சுற்றப்பட்டிருக்கும். இந்தத் தூண்டு சுருள் ஓர் உயர் அதிர்வெண் அலையியற்றிக்கு இணைக்கப்பட்டு இதன்வழியே உயர் அதிர்வெண் மின்னோட்டம் செலுத்தப்படும். இதனால் தூண்டுசுருளில் வெப்பம் தோன்றும். இந்தத் தூண்டு சுருள் வழியே குறைகடத்தியுள்ள பாத்திரம் மெதுவாக நகர்த்தப்படும்.

கிண்ணத்தின் ஒரு முனை சுருளில் நுழையும்போது அப்பகுதியிலுள்ள ஜெர்மேனியத் தண்டு உருகும். கிண்ணம் தொடர்ந்து நகரும்போது இந்த உருகிய பகுதியும் நகர்ந்து போகும். அப்போது அது குளிர்ந்து திடப்பொருளாக—படிகமாக—உறையும். அப்போது அதிலுள்ள தூசுகள் உருகிய பகுதிக்குத் தானே நகர்ந்து விடுகின்றன. இவ்வாறு கிண்ணம் ஒரு பக்கத்திலிருந்து மறு பக்கத்திற்கு மெதுவாக நகர்த்தப்படும்போது—இடமிருந்து வலதுபுறமாக நகர்த்தப்பட்டால்—உருகிய பகுதி வலதுபுறமிருந்து இடதுபுறம் நகரும். இதனால் ஜெர்மேனியத்திலுள்ள மாசுகளும் இடதுபுறமாக நகர்ந்து விடும். இறுதியாக ஜெர்மேனியக்கட்டை தூண்டு சுருளிலிருந்து வெளிவரும்போது மாசுகளெல்லாம் கட்டையின் வால் பகுதியில் குவிந்து இருக்கும். இந்த மண்டல மாசகற்றுமுறை பலமுறை திரும்பத்திரும்பச் செய்யப்படுகிறது. ஏறத்தாழ 30-முறை இவ்வாறு செய்தபின் ஜெர்மேனியக் கட்டையின் வால்பகுதி தவிர மற்றப் பகுதிகள் மாசுநீங்கி மிகத் தூய்மையாக இருக்கும். வால்பகுதியை நறுக்கி எறிந்துவிடலாம். எஞ்சிய பகுதியில் மாசு அணு 10^{10} ஜெர்மேனியம் அணுவிற்கு ஒன்று வீதம் கூட இருக்காது. பிறகு இதை டிரான்சிஸ்டரோ அல்லது குறைகடத்தி டயோடோ செய்யப் பயன்படுத்தலாம்.

அணிக்கோவைக் குறைகளும் நிலை மாறுபாடுகளும்

(அ) அணிக்கோவைக் குறைகள் : ஒரு படிகத்தின் அணிக்கோவையில் ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட அணுக்கள் இடம் மாறும்போது அணிக்கோவையின் வரிசை அல்லது இடையீட்டு ஒழுங்கு (Periodiciy) மாறுகிறது. இதையே 'அணிக்கோவைக் குறை' (lattice defect) என்கிறோம். ஒரு குறைகடத்திப் படிகத்தில் அதே தனிமத்தைச் சேர்ந்த அணு இடைவெளியில் பொருந்திக் கொண்டாலும் அதை ஒருவகை அணிக்கோவைக் குறை என்றே சொல்லலாம். அணிக்கோவையிலிருந்து ஓர் அணு நீக்கப்பட்டாலும் அது மற்றொரு வகை அணிக்கோவைக் குறையாகும்.

இடைவெளிகளில் வந்தமரும் அணுக்களால் தோன்றும் குறைபாடுகளும் அணுக்கள் நீக்கப்படுவதால் தோன்றும் குறை பாடுகளும் முறையே 'பிரன்கல் குறைபாடுகள்' (Frenkel defects) என்றும் 'சோட்கி குறைபாடுகள்' (Schottky defects) என்றும் கூறப்படும். ஓர் அணிக்கோவையிலிருந்து ஓர் அணு நீக்கப்படுவதால் தோன்றும் காலியிடத்தைக் குறிப்பதே 'சோட்கி குறைபாடாகும்'. எந்த இடத்திலிருந்து அணு நீக்கப்படுகிறதோ அந்த இடத்திலேயே காலி இடம் இருக்கும். நீக்கப்பட்ட அணு படிகத்தின் மேல்பரப்புக்கு வந்துவிடலாம் அல்லது படிகத்திலிருந்து வெளியேறி விடலாம். அப்படி வெளி யேறி விட்டால் அது இடைவெளியில் அமர்ந்து கொள்ள முடியாது. இவ்வாறு நீக்கப்பட்ட அணு அந்த இடத்தில் ஒரு காலியிடத்தைத் தோற்றுவித்துவிட்டு பிரிதொரு இடத்தில் சென்று இடைவெளியில் அமர்ந்து கொண்டால் இந்தக் குறை 'பிரன்கல் குறை' எனப்படும்.

ஓர் எலக்ட்ரான்—துளைஇரட்டை தோற்றுவிக்கப்படுவது போலவே, அணிக்கோவை குறைபாடும் இரட்டையாகத் தோற்று விக்கப்படுகிறது. ஆனால் 'சோட்கி குறை'யையோ 'பிரன்கல் குறை'யையோ தோற்றுவிக்க இரண்டு எலக்ட்ரான் வோல்ட் முதல் நான்கு எலக்ட்ரான் வோல்ட்வரை மிகுந்த ஆற்றல் தேவைப்படும். மேலும் இந்தக் குறைகளால் தோன்றும் அணுக்கள் படிகத்தினூடே ஊடுருவிச்சென்று (diffuse) தூசு அணுக்களைப் போலவே செயல்படத் தொடங்கலாம். சில நேரங் களில் இவை தூசு அணுக்கள் ஊடுருவ உதவுகின்றன என நம்பப் படுகிறது.

(ஆ) நிலை மாறுபாடுகள் (Dislocations) ஒரு படிக அணிக் கோவையில் தோன்றும் நிலை மாறுபாடுகள் கீழ்க் காணும் இரு வகைகளில் அமையும். 1. ஓரநிலை மாறுபாடு (Edge dislocation), 2. திருகுநிலை மாறுபாடு (Screw dislocation).

ஒரு முழு நிறைவான படிக அணிக்கோவையில் ஓர் அணுத் தளம் திடீரென்று முடிவடைந்துவிட்டால் அது 'ஓர நிலை மாறு பாடு' எனப்படுகிறது. இரண்டு அடுத்தடுத்துள்ள அணுத் தளங்கள் ஒன்றுக்கொன்று ஒன்றைவிட்டு ஒன்று நகர்ந்திருந்தால் அது 'திருகு நிலை மாறுபாடு' எனப்படும்.

அணிக்கோவைக் குறைகளும், நிலை மாறுபாடுகளும் ஒரு படிகத்தின் மின்னியல் பண்புகளில் மாற்றத்தைத் தோற்று

விக்கக் கூடியவை. இந்த மாற்றங்கள் எளிதில் கண்டுபிடிக்கக் கூடியவையாகவும் இருக்கும். ஏறத்தாழ எல்லா நிலை மாற்றங்களையும் ஒளியியல் முறையில் (Optical methods) எளிதில் கண்டு பிடித்து விடலாம். ஒரு குறைகடத்தியின் தனி இயல்பு (Quality) அதிலுள்ள நிறைவுறு நிலைகளின் எண்ணிக்கையையும் வகையையும் கொண்டு நிர்ணயிக்கப்படுகிறது.

குறை கடத்திகளின் இயற்பியல் குணங்கள்

ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகிய இரண்டு குறைகடத்திப் பொருள்கள்தாம் டையோடுகளும், டிரான்சிஸ்டர்களும் செய்ய மிகுதியாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. எனவே அவற்றின் பௌதீக அல்லது இயற்பியல் குணங்களைப்பற்றி (physical properties) அறிந்து கொள்ளுதல் நல்லது. இருந்தாலும் இந்த இரண்டு பொருள்களின் அடிப்படைக் குணங்கள் மற்ற எல்லாக் குறைகடத்திப் பொருள்களுக்கும் பொருந்தும்.

சிலிக்கான், ஜெர்மேனியம் தவிரக் கீழ்க்கண்ட பொருள்களும் மிகநல்ல குறைகடத்திப் பொருள்களாகப் பயன்படும்.

1. இண்டியம் ஆண்டிமொனைடு (Indium Antimonide)
2. கேலியம் ஆண்டிமொனைடு (Gallium Antimonide)
3. கேலியம் ஆர்சினைடு (Gallium Arsinide)
4. கேலியல் பாஸ்பைடு (Gallum phosphide)
5. அலுமினியம் ஆண்டிமொனைடு (Aluminium Antimonide)

இவற்றில் கேலியம் ஆர்சினைடு ஏற்கனவே டையோடுகளும் டிரான்சிஸ்டர்களும் செய்யப் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது

ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகிய இரு குறைகடத்திப் பொருள்கள் தனிமங்களாகும் (clements). அவை தனிம அட்டவணையில் நான்காவது பத்தியில் (column) அமைந்திருக்கின்றன. ஜெர்மேனியத்தின் அணு எண்-32, அணு எடை 72.6. சிலிக்கானின் அணு எண்-14, அணு எடை 28.08 ஆகும்.

தனிம அட்டவணையில் நான்காவது பத்தியிலுள்ள தனிமங்களெல்லாம் நான்கு இணைதிற எலக்ட்ரான்களை (Valency electron) வெளிக்கூட்டில் (Outer shell) பெற்றிருக்கும் என்பது நமக்குத் தெரியும். இந்த நான்கு இணைதிற எலக்ட்ரான்களில் ஒவ்வொன்றும் அடுத்துள்ள அணுவின் இணைதிற எலக்ட்ரான்களில் ஒன்றோடு இணை

திறப் பிணைப்பை (Covalent bond) ஏற்படுத்திக் கொண்டிருக்கும். ஆகவே, ஒவ்வொரு அணுவும் அதைச் சுற்றியுள்ள நான்கு அணுக்களோடு இணைதிறப் பிணைப்பை ஏற்படுத்திக் கொண்டிருக்கிறது என்பது தெளிவாகத் தெரிகிறது. சிலிக்கானும் ஜெர்மேனியமும் வைரத்தைப் போலவே படிக அமைப்புக் கொண்டவை என்பதை முன்பே கண்டிருக்கிறோம். ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகிய இரண்டுமே கடினமான பொருள்களாக இருந்தாலும் அவற்றை எளிதாகச் சில்லுகளாக உடைத்து விடலாம்.

சிலிக்கான், ஜெர்மேனியம் ஆகியவற்றின் இயற்பியல் குணங்கள் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை

ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகியவற்றின் குணங்கள்

குணங்கள்	ஜெர்மேனியம்	சிலிக்கான்
அணு எண் (Z)	32	14
அணு எடை (A)	72.6	28·1
அடர்த்தி — கிலோகிராம்/மீட்டர்^{3}	$5{\cdot}323 \times 10^3$	$2{\cdot}328 \times 10^3$
அணு அடர்த்தி/கன செ. மீக்கு	$4{\cdot}42 \times 10^{22}$	$4{\cdot}99 \times 10^{22}$
வெப்பக்கடத்தல் கலோரி/வினடி-செ. மீ-டிகிரி	0:14(25°C-ல்	0·2(20°C-ல்)
வெப்பநீள் விரிவெண்	$6{\cdot}1 \times 10^{-6}$	$4\ 2 \times 10^{6}$
உருகு வெப்ப நிலை	936°C	1420°C
கொதி வெப்ப நிலை	2700°C	2600°C
வெப்ப எண் கலோரி/கிராம்	0 074	0·181
மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலி (K)	15·8	11·7
அணிக்கோவை மாறிலி எண்	$5{\cdot}657 \times 10^{-8}$	$5{\cdot}431 \times 10$[illegible]
தூயமின்தடை (300° K-ல்) ஓம்-செ. மீ	47	230,000
நகர்வுத் திறன் μ_n (300° K-ல்) செ. மீ^{2}-வோல்ட்/வினடி	3900	1500
நகர்வுத் திறன் μ_n (300° K-ல்) செ. மீ^{2}/வோல்ட்/வினடி	1900	500
ஊடுருவல் மாறிலி எண் D_p செ. மீ^{2}/வினடி.	99	39
ஊடுருவல் மாறிலி எண் D_p செ. மீ^{2}/வினடி.	49	13

மின்கடத்துத் திறன் (Electrical Conductivity)

குறைகடத்திகள் அறை வெப்ப நிலையில் ஏறத்தாழ 10^4 மோ/மீட்டர் அளவிலிருந்து 10^{-7} மோ/மீட்டர்வரை மின்கடத்துத் திறனைப் பெற்றிருக்கும். இதே வெப்ப நிலையில் ஒரு நல் மின் கடத்தியின் கடத்துதிறன் 10^8 மோ/மீட்டராகும். ஒரு மின் காப்பீட்டின் கடத்துதிறன் 10^{-12}-லிருந்து 10^{-20} மோ/மீட்டர்வரை யிருக்கும்.

குறைகடத்திகள் எதிர்மின்தடை வெப்ப எண்ணைக் (Negative temperature co-efficient of resistance) கொண்டிருக்கும். வெப்பநிலை மிகுதியாக ஆகக் குறைகடத்தியின் மின்தடை குறைகிறது. அதாவது மின்கடத்துதிறன் மிகுதியாகிறது. இது மிக விரைவாக நடைபெறும். தூய ஜெர்மேனியம் அல்லது சிலிக்கானின் வெப்பநிலை 1°C உயருமானால் அதன் மின்தடை 5-லிருந்து 10 விழுக்காடுவரை குறையும். இதே வெப்பநிலை மாறுபாட்டிற்கு உலோகங்களில் 0·3—லிருந்து 0·5 விழுக்காடுவரை மின்தடை அதிகமாகும்.

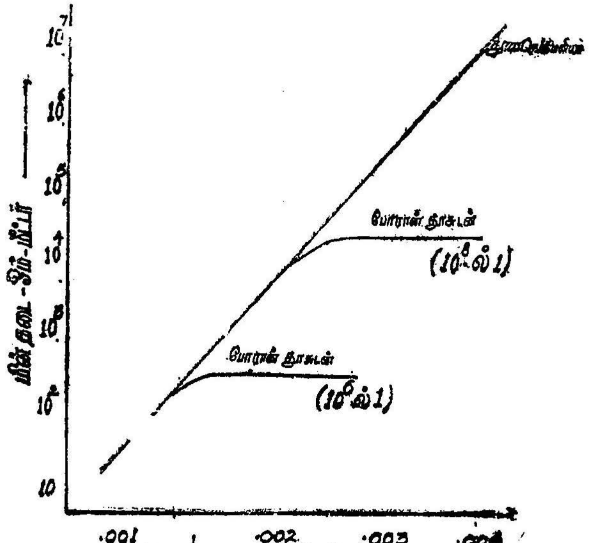
அறை வெப்பநிலையில் (300°K) தூய ஜெர்மேனியத்தின் மின் தடை 04·7 ஓம்—மீட்டராகும், சிலிக்கானின் மின்தடை பலநூறு ஓம் மீட்டராகும். வைரத்தின் மின்தடை அதை ஒரு மின்காப் பீட்டுப் பொருளாக நினைக்குமளவிற்கு மிகுதியாக இருக்கும். அதே நேரத்தில் சாம்பல் நிற டின் (gray tin) ஒரு குறைகடத்திப் பொருளாக இருந்தாலும் அதன் மின்தடை மின்காப்பீட்டுப் பொருள் அளவுக்கு அதிகமாக உள்ளது.

படம் 2·5-ல் தூய ஜெர்மேனியத்தின் வெப்பநிலையோடு மின் தடை மாறுபாடு காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. வெப்பநிலை குறையக் குறைய மின்தடை அதிகமாவதைக் காண்கிறோம். தனிச்சுழிக்கருகில் இருக்கும்போது அதன் மின்தடை மின் காப்பீட்டுப் பொருளின் மின்தடை அளவுக்கு இருக்கிறது. தூய ஜெர்மேனியத்தில் தூசு அணு கலக்கப்படும்போது மின்தடைப் பண்பு விரைவாக மாறுவதை அல்லது மின்தடை குறைவதைப் படம் காட்டுகிறது. 10^8 ஜெர்மேனியம் அணுவுக்கு ஒரு 'போரான்' (Boron) அணு வீதம் கலக்கப்பட்டால் அது மின் தடைப்பண்பை ஏறத்தாழ மாறாதிருக்கும்படி செய்வதைப் படத்தில் கிடைமட்டப் பகுதி காட்டுகிறது. இதுதான் குறைகடத்தி டையோடுகளுக்கு மிகத் தேவையான பண்பாகும். எனவே ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட தூசு அணுக்கள் தூய ஜெர்மேனியம் அல்லது சிலிக்கானில் அதன் மின்தடை ஏறத்தாழ

மாறுதிருக்கும்படி செய்ய, வேண்டுமென்றே கலக்கப்படுகின்றன. தூசு கலக்கப்பட்ட ஜெர்மேனியத்தின் மின்தடை எந்த அளவில் மாறுதிருக்கிறது என்பதைத் தூசு அணுவின் விழுக்காடு (Precentage of impurity Atom) நிர்ணயிக்கிறது. படம் 2·5-ல் அத்தகைய இரு மதிப்புகள் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கின்றன.

தூய்மையான அல்லது மாசற்ற குறைகடத்தி

ஒரு டிரான்சிஸ்டர் செய்யப் பயன்படுத்தப்படும் அடிப்படைப் பொருள் ஒரு ஜெர்மேனியப் படிகம் அல்லது சிலிக்கான் படிக



படம் 2.5
வெப்பநிலையுடன் மின்தடை மாறுபாடு

மாகும். ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் இரண்டுமே படிக வடிவ அமைப்புக் கொண்டவை. அவற்றின் படிக அணிக்கோவை அமைப்பு வைரத்தைப் போன்றேயிருக்கும். பல்படிக குறைகடத்திப் பொருள்களின் படிக ஓரங்கள் படிகத்திற்குப் படிகம் முரண்பாடான நிலைகளிலிருக்கும். இந்த முரண்பாடுகளைத் தவிர்ப்பதற்காக ஒரு பெரிய படிகத்தை வளரும்படி செய்வது தேவையாகிறது. அப்படிப்பட்ட பெரிய படிகங்களைச் சிறிய மெல்லிய தகடுகளாக வெட்டி எடுத்துக்கொள்ளலாம். பெரிய படிகத்தை ஆய்வுக்கூடத்தில் வளரச் செய்வது எளிதானது.

உருகிய குழம்பு நிலையிலுள்ள குறைகடத்திப் பொருள்களில் ஒரு சிறிய படிகம் மிகக் குறைந்த நேரத்திற்கு நனைத்துவைக்கப்பட்டுப் பிறகு வெளியே எடுக்கப்படுகிறது. குழம்பு நிலையிலுள்ள பொருள் குளிர்ந்து இறுகிச் சிறிய படிகத்தின்மேல் படிந்து வளரும் படிகம் தேவையான அளவு வளரும்வரை இவ்வாறு நனைத்தலும் உலர்த்தலும் மாறி மாறி செய்யப்படுகின்றது.

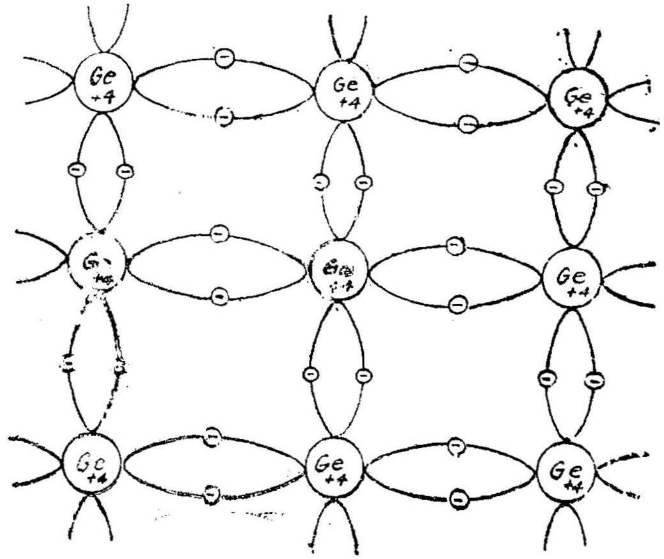
உலோகப் படிகங்களில் அணுக்கள் மிக நெருக்கமாக உள்ளன. இதனால் ஓர் அணுவினுடைய எலக்ட்ரான்கள் அந்த அணுவோடு எந்த அளவிற்குத் தொடர்பு கொண்டிருக்கிறதோ அதே அளவு அடுத்துள்ள அணுவோடு தொடர்பு கொண்டிருக்கும். ஏனெனில் அணுக்கள் அவ்வளவு நெருக்கமாக அமைந்திருக்கின்றன. இதனால் அணுவின் வெளிக் கூட்டிலுள்ள (outer shell) எலக்ட்ரான்கள் ஏறத்தாழ எந்த ஒரு குறிப்பிட்ட அணுவோடும் ஈர்ப்புடையதாக இரா. இத்தகைய எலக்ட்ரான்கள் உலோகத்தில் எந்த இடத்திற்கும் நகர்ந்து செல்லும் தன்னியல்பைக் கொண்டிருக்கும். ஒரு மின்புலம் அமைக்கப்பட்டால் அந்த எலக்ட்ரான்கள் மின்புலத்திற்கு உட்பட்டு நகரும் தன்மையுடையன. இந்தத் தன்னியல்பு அல்லது தனித்த எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை ஓர் அணுவுக்கு ஒன்று வீதமோ அல்லது இரண்டு வீதமோ சில நேரங்களில் மூன்று வீதமோ உலோகத்தின் தன்மையைப் பொறுத்திருக்கும்.

குறைகடத்திப் பொருள்களில் குறைந்த வெப்பநிலைகளில் எலக்ட்ரான்கள் அணுக்களுடன் உறுதியாகப் பிணைக்கப்பட்டிருக்கும். ஏறத்தாழ மின்கடத்தலே இருக்காது. வெப்பநிலை படிப்படியாக உயர்த்தப்பட்டால் மேலும் மேலும் எலக்ட்ரான்கள் தனித்து விடப்பட்டுத் தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்களாகின்றன. இவை தன்னியல்பாக நகரக்கூடியவை யாகையால் மின்கடத்தல் ஏதுவாகிறது. இதை ஜெர்மேனியப் படிக அமைப்பிலிருந்து காணலாம். ஜெர்மேனியம், வைரம் அல்லது சிலிக்கான் போன்றே படிக அமைப்புக் கொண்டது எனக் கண்டோம்.

ஜெர்மேனியத்தின் இணைதிறன் நான்கு ஆகும். படிகத்திலுள்ள ஒவ்வோர் அணுவும் அதைச் சுற்றி அடுத்துள்ள நான்கு அணுக்களுடன் முப்பரிமாணத்தில் இணைதிறப் பிணைப்பைத் தோற்றுவித்துக் கொள்கிறது. படம் 2·6-ல் ஒரு ஜெர்மேனியப் படிக அணிக்கோவையின் இருபரிமாணத் தள அமைப்புக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. படத்தில் ஒவ்வொரு சிறிய வட்டமும் ஒரு தனி ஜெர்மேனிய அணுவின் அணுக்கருவையும் அதைச் சுற்றியுள்ள

உள் கூட்டையும் குறிக்கிறது. நான்கு வெளி எலக்ட்ரான்களும் தனித்தனி எதிர் மின்னூட்டங்களாகக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த எலக்ட்ரான்கள் இரண்டிரண்டாக இணைதிறப் பிணைப்பைக் குறிக்கும்வகையில் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன.

இந்தப் படிக அமைப்பில் ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானும் இணைதிறப் பிணைப்பைத் தோற்றுவிக்கப் பயன்படுத்தப்பட்டிருக்கின்றது. எனவே, இவை இடம்விட்டு இடம் நகர முடியாது. இத்தகைய அமைப்பு மிகமிக நிலையானது (stable). அதே நேரத்தில் இந்த

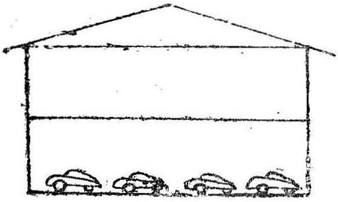


படம் 2.6
ஜெர்மேனியத்தின் அணிக்கோவை அமைப்பு

அமைப்பு மின்னூட்டம் அற்றதாகவுமிருக்கும். இந்தப் படிகத்தின் குறுக்கே ஒரு மின்புலம் அமைக்கப்பட்டால் மின்னோட்டம் இராது. ஏனெனில், மின்னூட்டத்தைக் கடத்துவதற்கான தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்கள் இல்லை. எனவே, இந்தப் படிகம் மிக நல்ல காப்பீட்டுப் பொருளாக அல்லது மின் கடத்தாப் பொருளாகச் செயல்படுகிறது. ஆனால், இத்தகைய ஓர் அமைப்பு தனிச் சுழி வெப்பநிலையில்தான் தோன்றும்.

இவ்வாறு எலக்ட்ரான்கள் இருந்தும் அவை பிணைக்கப்பட்டிருப்பதால் மின்னோட்டத்திற்கு உதவாது இருப்பதை ஓர் எடுத்துக்காட்டின் மூலம் விளக்கலாம். படத்தில் (2.7) மோட்டார்

கார்கள் கீழ்மட்டத்தில் உள்ளன. இவை அடுத்தடுத்து இருப்பதால் நகரமுடியாது ஒரே நிலையில் இருக்கின்றன. இந்த மோட்டார் கார்கள் முழு நிறைவுபெற்ற இணைதிறப் பிணைப்பில் இருக்கும் எலக்ட்ரான்களைப் போன்றவை. இவை எவ்வாறு நகராதிருக்கின்றனவோ அதே போன்று எலக்ட்ரான்களும் நகராதிருக்கின்றன. எனவேதான் அவை மின்னோட்டத்தில் பங்கு கொள்வதில்லை. படிகம் மின் கடத்தாப் பொருளாகச் செயல் படுகிறது.



படம் 2.7

வினாக்கள்

(1) குறைகடத்திகள் என்றால் என்ன? ஒரு நற்கடத்தி, மின்கடத்தாப் பொருள், குறைகடத்தி ஆகியவற்றின் குணங்கள், அவற்றிடையேயுள்ள வேறுபாடுகள் யாவை?

(2) ஒரு படிகத்தின் அமைப்பையும், அதன் அணிக் கோவையையும் பற்றி விளக்கி எழுது.

(3) குறைகடத்திப் படிகங்கள் யாவை? அவற்றில் நிறைவுறு நிலைகளுக்கான காரணங்களை விளக்கி எழுது.

(4) ஒரு படிகத்தின் அணிக்கோவையிலுள்ள குறைகள், நிலை மாறுபாடுகள் தோன்றக் காரணங்கள் யாவை? ஒரு படிகத்தின் அணுக்களினிடையே தோன்றும் பல்வேறு பிணைப்புகளைப் பற்றி விளக்கி எழுது.

(5) ஒரு குறைகடத்தியின் இயற்பியல் குணங்கள் யாவை?

(6) குறைகடத்திப் படிகங்களைத் தூய்மைப்படுத்தும் முறைகளை விளக்கி எழுது.

(7) டிரான்சிஸ்டர், சந்தி டயோடு ஆகியவை செய்யப் பயன்படும் குறைகடத்திப் படிகங்கள் யாவை? அவை எவ்வாறு தூய்மைப்படுத்தப்படுகின்றன?

(8) டிரான்சிஸ்டர்கள் உற்பத்தி செய்யப்படும் பல்வேறு முறைகளை விளக்கி எழுது. டிரான்சிஸ்டர் செய்வதற்குத் தகுதியாக ஜெர்மேனியமும், சிலிக்கானும் எவ்வாறு தூய்மைப்படுத்தப்படுகின்றன? தேவையான தூய்மை அளவைக் குறிப்பிடு.

3. குறைகடத்திகளில் எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும்

தூய்மையான குறைகடத்திகளில் மின்னூட்டத்தைக் கடத்தும் எலக்ட்ரான்களைத் தோற்றுவிக்கும் முறை

ஒரு தூய குறைகடத்தியில் ஒன்றிரண்டு இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து அதிலிருந்து இணைதிற எலக்ட்ரான்கள் (தன்னியல்பாக இயங்க) விடுபட்டால் படிகத்தில் மின்கடத்தல் ஏதுவாகிறது. ஓர் இணைதிறப் பிணைப்பு உடையும்போது அதிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரான் விடுபடுகிறது. அப்படி விடுபட்ட எலக்ட்ரான் அணிக்கோவையின் ஊடே ஊடுருவிச்செல்லும். இது ஓர் ஊடகத்தினுள் தன்னியல்பு எலக்ட்ரான் ஊடுருவிச் செல்வதை ஒக்கும்.

ஓர் இணைதிறப் பிணைப்பை உடைப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றல் ஒவ்வொரு குறைகடத்திப் பொருளையும் பொறுத்திருக்கும். இது ஜெர்மேனியத்திற்கு 0·75 எலக்ட்ரான் வோல்ட், சிலிக்கானுக்கு 1·12 எலக்ட்ரான்வோல்ட், வைரத்திற்கு 7 எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆகும். சாம்பல்நிற டின்தான் மிக வலிமையற்ற இணைதிறப் பிணைப்பைக் கொண்டிருக்கிறது. இதன் இணைதிறப் பிணைப்பை உடைக்க 0·1 எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆற்றலே போதுமானது.

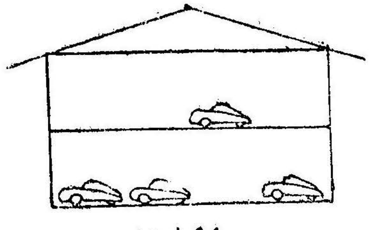
ஓர் இணைதிறப் பிணைப்பை உடைப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றலைப் பல்வேறு வழிகளில் கொடுக்கலாம். பொதுவாக இணைதிறப் பிணைப்பை உடைத்து எலக்ட்ரான்களை விடுவிப்பதற்கு வெப்ப ஆற்றல்தான் கொடுக்கப்படுகிறது. ஏனெனில், இது மிகவும் எளிதான வழியாகும். படிகத்தின் வெப்பநிலையைச் சிறிது உயர்த்தினாலே போதுமானது. எவ்வாறு வெப்பநிலை உயர்த்தப்படுகிறது, வெப்ப ஆற்றல் கொடுக்கப்படுகிறது என்பனவும் அதற்கான கணக்கீடுகளும் பின்வரும் தலைப்புகளில் விரிவாகக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

படம் 2·6-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் எலக்ட்ரான்கள் நிலையாக நகராது உட்கார்ந்திருக்கமாட்டா. இந்த எலக்ட்ரான்கள் ஓரளவு

ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும். எனவே, இவை சற்று இயக்கத்திலிருக்கலாம். குவான்டம் இயக்கவியலில் (quantum mechanics) இந்த இணைதிறப் பிணைப்புகள் எலக்ட்ரான் அலைச்சார்புகளுக்கு (electron wave function) இடையேயுள்ள செயல், எதிர்ச்செயல் விளைவுகளின் அடிப்படையில் (interaction) விளக்கப்பட்டிருக்கின்றன. குறைகடத்தியின் வெப்பநிலை உயர்த்தப்படும்போது அந்த அமைப்பின் மொத்த ஆற்றல் உயருகிறது. அதனோடுகூடத் தனித்தனி எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றலும் கூடுகிறது.

ஒரு படிகத்தின் உள்ளேயுள்ள எலக்ட்ரான்கள் வெவ்வேறு ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும். அவற்றில் சில எலக்ட்ரான்கள் இணைதிறப் பிணைப்பை உடைப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றலைவிட மிகுதியான ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கலாம். இந்த எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை குறைந்த வெப்பநிலையில் மிகச்சிறியதாக இருக்கும். வெப்பநிலை உயர்த்தப்படும்போது இந்த எண்ணிக்கையும் உயருகிறது. ஏனெனில், வெப்பநிலை உயரும்போது இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து எலக்ட்ரான்கள் வெளிவருகின்றன. எனவே, வெப்பநிலை உயரும்போது குறைகடத்தியின் கடத்துதிறனும் (conductivity) உயருகிறது. கடத்துதிறன் மின்னூட்டத்தை எடுத்துச்செல்லும் ஊர்திகளின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்து அமையும். இத்தகைய நிகழ்ச்சி படம் 2.5-ல் உள்ள வளைகோட்டுக்கு விளக்கத்தைத் தருகிறது.

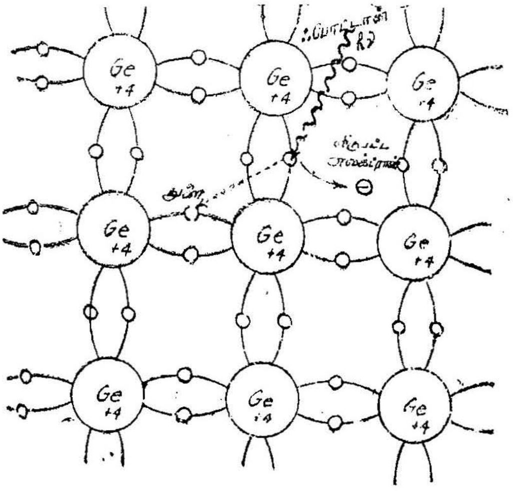
இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து அதிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் விடுபட்டுத் தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்களாக மின்புலத்தில் இயங்குவதை — மின்னோட்டத்தில் பங்குகொண்டு உதவுவதைக் கீழ்க்கண்ட எடுத்துக்காட்டின் மூலம் விளக்கலாம். படத்தில்(3.1)கீழ் மட்டத்திலுள்ள மோட்டார் கார்களில் ஒன்று விடுபட்டு மேல் மட்டத்திற்குச் சென்றுவிடுகிறது. இது இணைதிறப் பிணைப்பிலிருந்து விடுபட்ட எலக்ட்ரான்போல ஆகும். இந்த மோட்டார் கார் எந்தத் தடையுமில்லாமல் மேல் மட்டத்தில் இயங்கிச் செல்லமுடியும். இவ்வாறு விடுபட்ட எலக்ட்ரானும் மின்புலத்தில் தானே இயங்கிச் சென்று மின்னோட்டத்தில் பங்குகொள்கிறது.



படம் 3.1.

ஒரு குறைகடத்தியில் ஃபோட்டான்கள் (Photons) மோதுவதாலும் அதிலுள்ள இணைதிறப் பிணைப்புகள் உடையலாம். எனவே, ஒரு குறைகடத்தியின்மீது ஒளியைப் பாய்ச்சி கடத்துத் திறனை அதிகமாக்கலாம். ஓர் இணைதிறப் பிணைப்பை உடைப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றலைவிட இது அதிகமான ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும். ஒவ்வொரு ஃபோட்டானும் பிணைப்பிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரானை விடுவிக்கும் எனக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது.

குறைகடத்திப் பொருளின்மீது ஆல்ஃபா துகள் (Alpha particle), எலக்ட்ரான் அல்லது X-கதிர்ஃ போட்டான் (X-ray



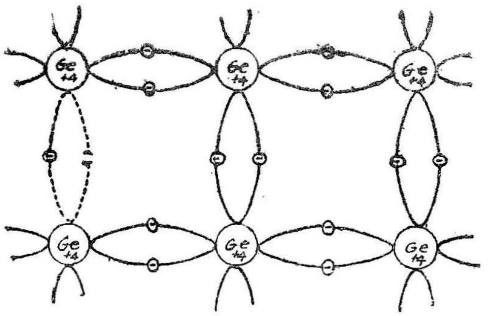
படம் 3.2
எலக்ட்ரான், துளை ஆகியவற்றை ஃபோட்டான் தோற்றுவித்தல்

photon) ஆகியவற்றில் ஏதாவதொன்று தாக்கும்படி செய்தாலும் இணைதிறப் பிணைப்பு உடையும். ஆனால், இத்தகைய துகள்கள் தாக்கும்போது குறைகடத்திப் பொருள் சேதமடைந்து விடுகிறது. சில சமயங்களில் இந்தத் துகள்கள் அணிக்கோவையிலுள்ள அணுக்களின்மேல் மோதி அவற்றை வெளித் தள்ளி விடும். இதனால் அணிக்கோவைக் குறைகள் தோன்றி குறைகடத்திப் பொருளின் தன்மையே மாறிவிடக்கூடும்.

துளை தோன்றும் முறை

ஓர் இணைதிறப் பிணைப்பிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரான் விடுபட்டு விட்டால் அது இருந்த இடம் காலியாக இருக்கும். ஒரு படிக

அமைப்பில் இந்தக் காலியான இடம் 'துளை' (hole) எனப்படும். படம் 3·3-ல் ஒரு ஜெர்மேனியப் படிக அணிக்கோவையில் சிறிய பகுதி காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இயல்பான நிலையில் அணிக் கோவையின் இந்தப் பகுதி மின்னூட்டமற்றதாயிருக்கும். ஒவ்வோர் அணுவுடனும் நான்கு எலக்ட்ரான்கள் இணைந்து இருக்கும். படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் ஓர் இணைதிறப் பிணைப்பு உடைக்கப்பட்டு ஓர் எலக்ட்ரான் வெளியேறிவிட்டால் அதனிடத்தில் ஒரு காலியிடம் அல்லது துளை தோன்றுகிறது.



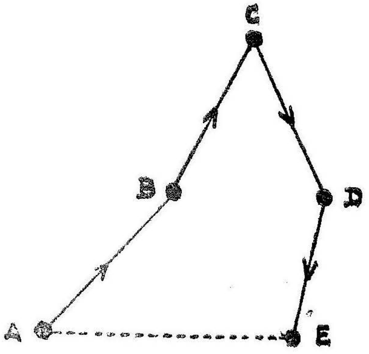
படம் 3.3
ஜெர்மேனியத்தின் இணைதிறப் பிணைப்பு உடைதல்

எலக்ட்ரான் ஓர் எதிர் மின்னூட்டத்தைப் பெற்றிருக்கிறது. எனவே, துளை ஒரு நேர் மின்னூட்டத்தைப் பெற்றிருப்பதற்கு (+ve charge) ஒப்பாகும். ஆனால், இது ஒரு சிறப்பான நிலையாகும். இது மிகவும் குறைந்த கால அளவுக்கே இருக்கும்; இந்த நிலை நிலைத்திரா. ஒரு படிகத்தின் இயல்பான நிலைத் தன்மை என்பது நான்கு இணைதிற எலக்ட்ரான்களும் அணுவோடு இணைதிறப் பிணைப்பால் பிணைக்கப்பட்டிருப்பதேயாகும்.

எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் மின்கடத்திகளாகச் செயற்படுதல்

இணைதிறப் பிணைப்புகள் உடைத்து, விடுபடும் எலக்ட்ரான்கள் படிக அணிக்கோவையினூடே ஊடுருவிச் செல்லும் தன்னியல்பு கொண்டவையாய் இருக்கும். இவ்வாறு விடுபட்ட எலக்ட்ரான்கள் படிக அணிக்கோவையினூடே குறிப்பின்றி ஒழுங்கற்று இங்குமங்குமாக ஊடுருவிச் சென்றுகொண்டிருக்கும். இந்தத் தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்கள் அணுவின் அணுக்கருவினால் ஈர்க்கப் படுவதில்லை. இணைதிறப் பிணைப்புகளிலுள்ள எலக்ட்ரான்களால்

விலக்கித் தள்ளப்படுவதுமில்லை. ஏனெனில், அணுக்கருப் பிணைப்பு எலக்ட்ரான்கள் ஆகியவற்றின் மின் விளைவுகள் இணைதிறப் பிணைப்பை நிலைநிறுத்துவதில் ஈடுபட்டிருக்கும். எனினும், வெளியிலிருந்து ஒரு மின்புலம் செயல்படும்படி செய்யப்பட்டால் இந்தத் தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்கள் மெதுவாகச் சீராக நேர்மின்வாய் நோக்கி நகரத்தொடங்கும். இந்தச் சீரான நகர்வால் ஒரு மின்னோட்டம் இருக்கும். உண்மையில் எலக்ட்ரான்களின் ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தோடுகூடவே இந்தச் சீரான நகர்வும் நேர்மின் வாயை நோக்கி இருக்கும். படம் 3.4-ல் A-என்ற புள்ளியில் தோன்றிய ஓர் ஒற்றை எலக்ட்ரானின் இயக்கம் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. E-என்ற மின்புலத்தின் செயல் விளைவால் A-புள்ளியில் தோன்றிய எலக்ட்ரான் தனது ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தோடுகூடவே வலப்புறமாக நகர்கிறது. நகர்ந்து வந்து E-என்ற புள்ளிக்குச் சிறிது நேரத்தில் வந்து சேருகிறது. இந்த எலக்ட்ரான் உண்மையில் பயணம்செய்த பாதை B, C, D, E, ஆகிய நிலைகளின் வழியே செல்லும் கோட்டால் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. எலக்ட்ரானின் இடப்பெயர்ச்சி (displacement) A-யிலிருந்து E வரை ஆகும். இது புள்ளிக்கோட்டால் (dotted lines) குறிக்கப்பட்டிருக்கிறது. எலக்ட்ரான் பயணம் செய்த பாதை இந்த இடப்பெயர்ச்சியைவிட நீளமானதாகும். மேலும் இந்தப் பயணத்தின்போது பல மோதல்கள் (collisions) ஏற்பட்டிருக்கும். வெளி மின்புலத்தின் செயலால் எலக்ட்ரான் நகர்ந்த A E தொலைவுதான் இங்கு குறிப்பிடத்தக்கதாகும் (முக்கியமானதாகும்).

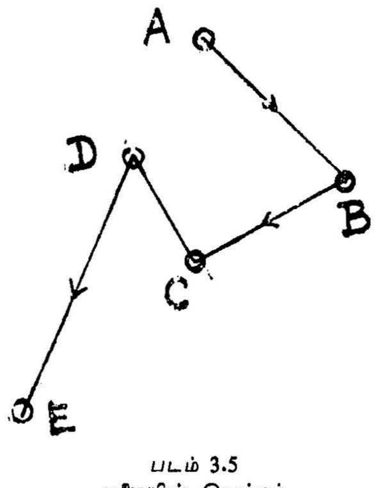


படம் 3.4
எலக்ட்ரானின் ஒழுங்கற்ற இயக்கம்

வெளிமின்புலம் செயற்படும்படி செய்யப்படும்போது துளைகளும் படிக அணிக்கோவையினூடே ஒழுங்கற்றமுறையில் நகர்ந்து செல்கின்றன. இவையும் விடுபட்ட எலக்ட்ரான்களைப் போலவே ஒழுங்கற்றமுறையில் நகர்ந்து செல்லுகின்றன. மேலும் இவையே மின்னோட்டத்திற்கும் பங்குகொண்டு உதவுகின்றன.

இவ்வாறு ஓர் இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து ஓர் எலக்ட்ரான் வெளிவரும்போது மீதமுள்ள எலக்ட்ரான் ஒரு புதிய நண்பனைப் பெறும் வாய்ப்பைப் பெறுகிறது. இந்த வாய்ப்பு, படிக அணிக் கோவையின் வெப்ப எழுச்சியால் பெறப்படலாம். ஏனெனில், வெப்ப எழுச்சியின்போது அடுத்துள்ள அணுவிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரான் இந்த மீதமுள்ள எலக்ட்ரானுக்கு மிக அருகில் வரலாம். அப்படி அருகில் வந்தால் காலியான இடத்தை அந்த எலக்ட்ரான் வந்து நிரப்பிவிடும். இந்த எலக்ட்ரான் மாற்றம் தானே நடைபெறும்படி அமையும். இவ்வாறு அடுத்தடுத்துள்ள பிணைப்பிலுள்ள இரு எலக்ட்ரான்களில் ஒன்று எடுக்கப்பட்டு முதல் பிணைப்பிலுள்ள காலியிடம் நிரப்பப்படுகிறது. இதனால் முதல் இணைதிறப் பிணைப்புத் திரும்ப அமைக்கப்படுகிறது.

இரண்டாவது பிணைப்பிலிருந்து எலக்ட்ரான் வெளிவந்து விட்டதால் அதில் ஒரு புதிய துளை தானே தோன்றுகிறது. ஆகவே, துளையானது தோற்றுவிக்கப்படுவதில்லை. அதனுடைய நிலைதான் ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்கு மாற்றப்படுகிறது. இவ்வாறு எலக்ட்ரான்கள் ஒரு துளையிலிருந்து மற்றொரு துளைக்கு மாறும் நிலை அடுத்தடுத்து நகர்ந்துகொண்டேயிருப்பதால் துளையானது ஓரிடத்திலிருந்து மற்றோரிடத்திற்குத் தொடர்ந்து நிலை மாறிக்கொண்டே செல்வதுபோல் தோன்றும். (படம் 3.5) இத்தகைய ஒரு துளையின் இயக்கத்தைக் காட்டுகிறது. A-புள்ளியில் ஒரு துளை தோற்றுவிக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இந்தத் துளையைத் தோற்றுவிக்க இந்த இணைதிறப் பிணைப்பிலிருந்து விடுபட்ட எலக்ட்ரான் அணிக் கோவையில் வேறு எங்கோ சென்று விட்டதாகக் கொள்வோம். அது படத்தில் காண்பிக்கப்படவில்லை.



படம் 3.5
துளையின் இயக்கம்

B என்ற புள்ளியிலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரான் இப்போது A-புள்ளியிலுள்ள துளைக்கு இடம் மாறி அங்குள்ள இணைதிறப் பிணைப்பை மீண்டும் அமைக்கிறது. A-யிலுள்ள துளை அழிக்கப்பட்டதாகக்

கொண்டால் அதே நேரத்தில் B-புள்ளியில் ஒரு துளை தோன்றி யிருக்கிறது. இதன் விளைவாக A-யிலுள்ள துளை B-நிலைக்கு இட மாற்றம் அடைந்ததாக அல்லது B-நிலைக்கு நகர்ந்துவிட்டதாகக் கொள்ளலாம். இதே போன்று இந்தத்துளை அடுத்தடுத்து B-யிலிருந்து C-க்கும், C-யிலிருந்து D-க்கும், D-யிலிருந்து E-க்கும் நகர்ந்துகொண்டே செல்கிறது. ஒரு துளை தோன்றியவுடன் அது தொடர்ந்து இவ்வாறு செல்வது ஒரு தொடர் நிகழ்ச்சி யாகும். ஒரு மின்புலம் இல்லாதபோது இத்தகைய ஒரு துளையின் இயக்கம் ஒழுங்கற்றதாகக் குறிப்பின்றி இருக்கும். மின்புலம் அமைக்கப்படும்போது இத் துளை எதிர்மின்வாய் நோக்கி நகரத் தொடங்கும். இதன் நகர்வு மின்புலம் வழியே இருக்கும்; ஆனாலும், இந்த நகர்வு துளையின் ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தின் கூடவே இருக்கும். இந்தத் துளைகளின் நகர்வும் மின்னோட்டத்தில் விடு பட்ட எலக்ட்ரான்களைப் போலவே பங்குகொண்டு உதவுகிறது.

இந்தத் துளைகளின் இயக்கத்தை மோட்டார் கார் எடுத்துக் காட்டில் விளக்கலாம். கீழ் மட்டத்திலுள்ள கார்களில் ஒன்று மேல் மட்டத்திற்குப் போய்விடுகிறது. இது இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து விடுபடும் எலக்ட்ரானுக்குச் சமமாகும். இது வெளி யேறிவிட்டதால் அதன் இடத்தில் ஒரு காலியிடம் இருப்பதைக் காணலாம். இந்தக் காலியிடம் ஒரு துளைக்குச் சமமாகும். பின்னாலுள்ள ஒரு கார் முன் நகர்ந்து இந்தக் காலியிடத்தை நிரப்பும். இப்போது இந்தக் கார் இருந்த இடம் காலியாக இருக்கும். இது ஓர் எலக்ட்ரான் ஒரு பிணைப்பிலிருந்து நகர்ந்து ஒரு துளையை நிரப்பி, தான் இருந்த இடத்தில் ஒரு துளையைத் தோற்றுவிப்பதற்கு ஒப்பாகும். இந்தக் கார் இடத்தை மற்றொரு கார் நகர்ந்து வந்து நிரப்பலாம். இவ்வாறு காலியிடம் அடுத் தடுத்துப் பின்னோக்கிச் செல்கிறது. எனவே, கீழ் மட்டத்திலுள்ள மோட்டார் காரின் ஓட்டம் ஏதுவாகிறது. இங்குக் கார் முன் னோக்கி ஓடுவதுபோலில்லாமல் காலியிடம் அடுத்தடுத்துப் பின்னோக்கிச் செல்வதுபோல் இருக்கும். இது ஒரு துளை மின் புலத்தில் எதிர் மின்வாயை நோக்கி நகர்வதற்கு ஒப்பாகும்.

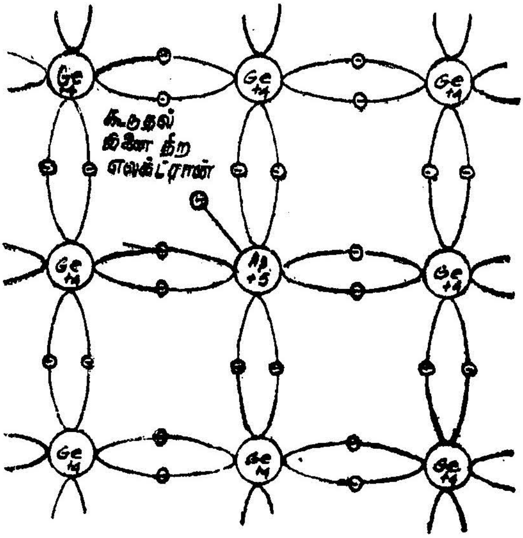
இணைதிறப் பிணைப்பிலிருந்து விடுபட்ட எலக்ட்ரான் மேல்மட்டத்திலுள்ள மோட்டார்காராக சித்திரிக்கப்பட்டிருக் கிறது அல்லது காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. கீழ் மட்டத்திலுள்ள காலியிடம் துளையாகக் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. மேல்மட்டத் திலுள்ள காரின் இயக்கத்திற்கும் கீழ் மட்டத்திலுள்ள காலியிடத் தின் இயக்கத்திற்கும் சிறிது வேறுபாடு இருக்கும்.

குவான்டம் இயக்கவியலின் அடிப்படையில் (பின்வரும் ஒரு தலைப்பில் இது விரிவாக விளக்கப்பட்டிருக்கிறது) எலக்ட்ரான்களின் இயக்கமும் துளைகளின் இயக்கமும் ஏறத்தாழ ஒரேமாதிரியாக உள்ளன என்று தெளிவாக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்த ஒத்த இயக்கம் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள மோட்டார் காரின் எடுத்துக்காட்டால் விளக்க முடியாது. ஏனெனில், மேல் மட்டத்திலுள்ள மோட்டார் கார் எளிதாக இயங்கி நகர முடியும். ஆனால், அதே நேரத்தில் கீழ் மட்டத்தில் உள்ள காலியிடத்தில் மோட்டார்கார் நகர்வது அவ்வளவு எளிதாக இராது. படிகத்திலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் குவான்டம் இயக்கவியல் கொள்கைப்படி எலக்ட்ரான்களின் இயக்கத்திற்கும் துளைகளின் இயக்கத்திற்கும் மிகச் சிறிய வேறுபாடு உள்ளது. எனவே, ஒரு துளை என்பது ஒரு நேர் மின்னூட்டம்போலச் செயற்பட்டுப் படிக அணுக்கோவையில் ஊடுருவிச் செல்வதாகக் கொள்ளலாம். இதன் இயக்கம் தனி எலக்ட்ரான்களின் இயக்கத்தைப்போலவே எதிர்த்திசையில் இருப்பதாகக் கொள்ளலாம்.

இணைதிறப் பிணைப்பு உடைக்கப்பட்டு அதிலிருந்து விடுபட்ட எலக்ட்ரான்களின் இயங்குமுறைக்கும் இணைதிறப் பிணைப்பில் விடுபடாமலிருக்கும் எலக்ட்ரான்களின் இயங்குமுறைக்கும் ஒரு முக்கிய வேறுபாடு இருக்கிறதென்பது தெளிவு. இதை 'பிரில்லியான் மண்டலம்' ஆற்றல் பட்டைக் கோட்பாடுகளின் அடிப்படையில் (Brillouin zones of energy bands) விளக்கலாம். இந்தக் கொள்கையின்படி இணைதிறப் பிணைப்புகளிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றல் மட்டத்தில் (Energy levels) இருக்கின்றன. இந்த ஆற்றல் மட்டம் ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையுள்ள ஆற்றல் பட்டைகளைக் (Energy bands) கொண்டது. ஒரு முழுமையான படிகத்தில் இந்த ஆற்றல் மட்டங்களிலெல்லாம் எலக்ட்ரான்கள் அமர்ந்துகொண்டுவிடும். இத்தகைய ஆற்றல் பட்டை, நிரப்பப்பட்ட ஆற்றல் பட்டை அல்லது இணைதிறப் பட்டை (Valency band) எனப்படும். இது நம் எடுத்துக்காட்டுப் படத்தில் கீழ்மட்டத்திற்கு ஒப்பாகும். ஓர் எலக்ட்ரான் இந்த நிரப்பப்பட்ட ஆற்றல் பட்டையின் மேல்வரம்பு ஆற்றலைவிட மிகுந்த ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கலாம். அப்போது இந்த எலக்ட்ரான் தன்னியல்பு எலக்ட்ரானாக மாறி வெளியேறிவிடுகிறது. இது முன்பே விரிவாக விளக்கப்பட்டிருக்கிறது.

இவ்வாறு வெளியேறிய தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்கள் பல்வேறு ஆற்றல்களை அல்லது ஆற்றல் மட்டங்களைப் பெற்றிருக்கலாம். இந்த ஆற்றல் மட்டங்கள் காலி ஆற்றல் பட்டைகள்

(Empty bands) அல்லது கடத்துபட்டைகள் (Conduction bands) எனப்படும். இவை மோட்டார் கார் எடுத்துக்காட்டில் மேல் மட்டத்தைக் குறிக்கிறது. நிரப்பப்பட்ட பட்டையில்கூடச் சில நேரங்களில் மின்கடத்தல் ஏதுவாக இருக்கும். ஆனால், இது கடத்தல் பட்டையாகாது. இதை அடுத்துள்ள படத்தில் காண லாம். நிரப்பப்பட்ட பட்டைக்கும் காலிப்பட்டைக்கும் இடையே ஓர் இடமுள்ளது (Region). இந்த இடம் தடுக்கப்பட்ட இடம் (for bidden Region) எனப்படும். இந்த இடத்திற்கு நேரான



படம் 3.6(a)
ஜெர்மேனியம் படிகத்தில் கொடைத் தூசு

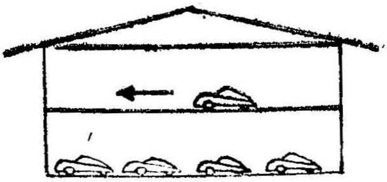
ஆற்றல்களை எந்த எலக்ட்ரான்களும் கொண்டிருக்க முடியா. இவை நிரப்பப்பட்ட பட்டையின் ஆற்றல் மட்டங்களிலோ அல்லது கடத்துபட்டையின் ஆற்றல் மட்டங்களிலோதான் இருக்கமுடியும்.

படிகத்தின் வெப்பநிலை உயர்த்தப்பட்டால் வெப்ப எழுச்சியின் காரணமாக இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து சம எண்ணிக்கையுள்ள எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் தோன்றும். இந்த எலக்ட்ரான்கள் நிரப்பப்பட்ட ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து கடத்து ஆற்றல் மட்டத்திற்குச் செல்லுகின்றன.

மின்னூட்ட ஊர்திகள் ஒன்றுதல் (Recombination of carriers)

ஒரு தூய குறைகடத்திப் பொருளில் இணைதிறப் பிணைப்பிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரான் வெளியேற்றப்பட்டால்தான் ஒரு துளை தோன்றுகிறது. எனவே, வெளியேறிய அல்லது விடுபட்ட தன்னியல்பு எலக்ட்ரானின் எண்ணிக்கையும் துளைகளின் எண்ணிக்கையும் சமமாக இருக்கும். எனவே, எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் இரண்டிரண்டாக ஒரே நேரத்தில் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன.

மேலும், படிக அணிக்கோவையினூடே கடத்து எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் ஒழுங்கற்ற முறையில் குறிப்பின்றிச் செல்லுகின்றன. இந்த எலக்ட்ரான்களில் ஒன்று ஒரு துளையைச் சந்திக்கும் வாய்ப்பு இருக்கிறது. அப்படிச் சந்தித்தால் ஒரு துளையும் கடத்து எலக்ட்ரானும் ஒன்றோடொன்று ஒன்றி ஒரு இணைதிறப் பிணைப்பை மீண்டும் தோற்றுவித்துக்கொள்ளும். இதனால் துளையும், கடத்து எலக்ட்ரானும் மறைகின்றன. இத்தகைய ஒன்றிடும் செயலினால் ஆற்றல் வெளிப்படும். இந்த வெளிப்படும் ஆற்றல் வெப்ப ஆற்றலாக இருக்கும்.



படம் 3.6(b)

இவ்வாறு ஒன்றிடும் செயலால் வெளிப்படும் ஆற்றல் ஓர் இணைதிறப் பிணைப்பை உடைப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றலுக்குச் சமமாக இருக்கலாம். ஜெர்மேனியப் படிகத்தில் இது 0·75 எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆற்றலுக்குச் சமம்.

கடத்து எலக்ட்ரான்கள், துளைகள் ஆகியவை ஒன்றிடும் செயல் நடக்கும் வீதம் (rate of recombination), எலக்ட்ரான்களின் செறிவு, துளைகளின் செறிவு ஆகியவற்றின் பெருக்குத் தொகைக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். எனவே, இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து எலக்ட்ரான் துளை தோன்றும் செயலும், எலக்ட்ரான் துளை மீண்டும் ஒன்றிடும் செயலும் ஏறத்தாழ ஒரே நேரத்தில் நடைபெறுகிறது. எனவே, ஒரு தனித்த மின்னூட்ட ஊர்தி (எலக்ட்ரானோ அல்லது துளையோ) ஒரு குறைந்த வாழ்வு நேரத்தையே (life time) பெற்றிருக்கும். இந்த வாழ்வு நேரம் ஒரு மைக்ரோ வினாடியிலிருந்து ஒரு மில்லி வினாடிவரை இருக்கும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் எலக்ட்ரான்களின் செறிவும் துளைகளின் செறிவும் மாறாது நிலையாக இருக்கும். எனவே,

எலக்ட்ரான், துளைகள் தோற்றுவிக்கப்படும் வீதங்கள் சமமாகவே இருக்கவேண்டும். இப்போது வெப்பநிலை உயர்த்தப்பட்டால் எலக்ட்ரான்கள், துளைகள் தோற்றுவிக்கப்படும் வீதம் உயருகிறது. எலக்ட்ரான்கள், துளைகளின் செறிவுகளும் மிகுதியாகின்றது. இதனால் ஒன்றிடும் செயல்வீதமும் அதிகரிக்கவேண்டும். இவ்வாறு ஒன்றிடும் செயல்வீதம் எலக்ட்ரான் துளை தோற்று விக்கப்படும் வீதத்திற்குச் சமமாகும்வரை எலக்ட்ரான் துளைச் செறிவுகள் மிகுதியாகும். இவ்வாறாக, வெப்பநிலை உயர்த்தப் பட்டால் எலக்ட்ரான், துளை ஆகியவற்றின் செறிவுகள் மிகுதியா கின்றன.

ஒரு தூய குறைகடத்தி நடைமுறையில் அவ்வளவு முக்கியத் துவம் வாய்ந்ததில்லை. ஏனெனில், அதன் கடத்துதிறன் மிகமிகக் குறைவானது. அதனோடு அக் குறைந்த கடத்துதிறனும் மாறும் தன்மையுடையது. இந்த இரண்டு பண்புகளும் அவற்றை நடை முறைக்கு ஒவ்வாததாக ஆக்கிவிடுகின்றன.

இதைப் போக்குவதற்காகக் கணக்கிடப்பட்ட மிகக்குறைந்த அளவு வேதியியல் தூசுகள் தூய குறைகடத்திப் பொருள்களில் கலக்கப்படுகின்றன. இவை 'தூசு கலக்கப்பட்ட குறைகடத்திகள்' (extrinsic semi conductor) எனப்படும். இத்தகைய தூசுகள் தேர்ந் தெடுக்கப்பட்டனவாய், உரிய தன்மையுடையனவாய் இருத்தல் வேண்டும். இவை ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுதான் குறைகடத்திப் பொருளில் கலக்கப்படவேண்டும். அப்போதுதான் இவை குறை கடத்தியின் மின் கடத்துதிறனை ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் மாற்றி அமைக்கும். கடத்துதிறனை வேண்டிய அளவுக்கு மிகுதி யாக்கத் தேவைப்படும் தூசு அணுக்கள் மிகமிகக் குறைந்த அளவே யாகும். ஏறத்தாழ ஒருமில்லியன் தூய குறைகடத்தி அணுக்களுக்கு ஒரு தூசு அணுவீதம் கலக்கப்படுகிறது.

ஜெர்மேனியமும், சிலிக்கானும், நான்கு இணைதிறம் கொண் டவை. தூசு அணுக்கள் ஐந்து இணைதிறம் கொண்டவையாகவோ அல்லது மூன்று இணைதிறம் கொண்டவையாகவோ இருக்கலாம். அதாவது தனிம அட்டவணையில் ஐந்தாவது பிரிவிலோ அல்லது மூன்றாவது பிரிவிலோ உள்ள அணுக்கள் தூசு அணுக்களாகப் பயன்படுத்தப்படலாம்.

இந்தத் தூசு அணுக்கள் அவற்றின் செயலின் அடிப்படையில் இருபகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படுகின்றன. 1. கொடைவகை அணுக் கள் அல்லது n-வகை அணுக்கள். 2, ஏற்பி அணுக்கள் அல்லது

p-வகை அணுக்கள் (acceptors), ஐந்து இணைதிறம் கொண்ட அணுக்கள் கொடை அணுக்களாகவும் (donor atoms), மூன்று இணைதிறம்கொண்ட அணுக்கள் ஏற்பி அணுக்களாகவும் செயல் படுகின்றன.

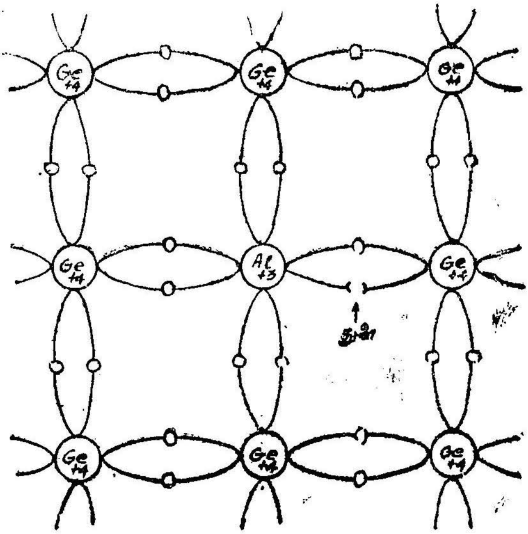
கொடை அணுவகை அல்லது n-வகைக் குறைகடத்தி

தூய குறைகடத்தியைவிட அதனோடு கலக்கப்படும் தூசு அணுவின் இணைதிறம் (valency) மிகுதியாக இருந்தால் அந்தத் தூசு கலந்த குறைகடத்தி கொடை வகை அல்லது n-வகைக் குறை கடத்தி எனப்படும். ஜெர்மேனியம் அல்லது சிலிக்கானை எடுத்துக்கொண்டால் அது ஒரு நான்கு இணைதிறம்கொண்ட அணுவாகும். அதனோடு பாசுபரஸ், ஆண்டிமொனி, ஆர்சனிக், பிஸ்மத் போன்ற ஏதாவதோர் ஐந்து இணைதிறம் கொண்ட தூசு அணுவைக் கலந்தால்,கலக்கப்பட்ட ஜெர்மேனியமோ சிலிக்கானோ ஒரு கொடைவகை அல்லது n-வகைக் (Donor type or n-type) குறைகடத்தி எனப்படும்.

ஜெர்மேனியம் அணுக்களைப் போலவே இந்தத் தூசு அணுக் களின் அளவும் ஏறத்தாழ இருக்கிறது. எனவே, இந்தத் தூசு அணுக்கள் ஒவ்வொன்றும் படிக அணுக்கோவையிலிருந்து ஒரு ஜெர்மேனிய அணுவை வெளியேற்றிவிட்டுத் தான் உட்கார்ந்து கொள்ளுகின்றது. இந்தத் தூசு அணுக்களின் எண்ணிக்கை மிகக் குறைவாக இருப்பதால் பொதுவாக ஓர் அணிக்கோவையில் அது உட்கார்ந்தவுடன் அதைச் சுற்றி ஜெர்மேனிய அணுக்களே இருக்கும். எனவே, ஒவ்வொரு தூசு அணுவைச் சுற்றியும் சமமான தொலைவுகளில் நான்கு ஜெர்மேனிய அணுக்கள் இருக்கும். ஐந்து இணைதிறம் கொண்ட இந்தத் தூசு அணுவிடம் ஐந்து இணைதிற எலக்ட்ரான்கள் இருக்கும். இவற்றைக்கொண்டு இது அதைச் சுற்றியுள்ள ஜெர்மேனிய அணுக்களுடன் இரட்டை எலக்ட்ரான்களையுடைய இணைதிறப் பிணைப்பை அமைத்துக் கொள்ளவேண்டும். ஐந்து இணைதிற எலக்ட்ரான்களில் நான்கு எலக்ட்ரான்கள் அடுத்துள்ள ஜெர்மேனியம் அணுக்களின் நான்கு இணைதிற எலக்ட்ரான்களோடு இணைந்து இணைதிறப் பிணைப்பை அமைத்துக்கொண்டு விடுகின்றன. இவ்வாறாக ஒரு தூசு அணுவின் நான்கு இணைதிற எலக்ட்ரான்கள் அணிக்கோவையில் இணைதிறப் பிணைப்பில் பிணைக்கப்படுகின்றன. இந்த அமைப் பினால் ஐந்தாவது இணைதிற எலக்ட்ரான் தனித்துவிடப்படுகிறது. இது தூசு அணுவோடு எளிய பிணைப்பைத்தான் கொண்டிருக்கும். மிகக் குறைந்த ஆற்றலைச் செலவழித்து இந்த எலக்ட்ரானை

விடுவித்து விடலாம். ஆர்சனிக் தூசு அணுவை ஜெர்மேனியத்தோடும் சிலிக்கானோடும் கலக்கும்போது இந்த ஆற்றல் முறையே 0·01 எலக்ட்ரான் வோல்ட், 0·05 எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆகும்.

இந்த ஐந்தாவது எலக்ட்ரானை விடுவிக்கத் தேவைப்படும் ஆற்றல் ஓர் இணைதிறப் பிணைப்பை உடைப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றலான 0·75 எலக்ட்ரான் வோல்ட்டோடு ஒப்பிடும்போது மிகக் குறைந்த அளவேயாகும். இவ்வாறு விடுவிக்கப்பட்ட இணைதிற எலக்ட்ரான் படிக அணிக்கோவையில் எங்கும் நகர்ந்து செல்லக்கூடிய தன்னியல்பு கொண்டதாக இருக்கும். இதன்



படம் 3·7(a)
ஜெர்மேனியம் படிகத்தில் ஏற்பித் தூசு

இயக்கம் தூய குறைகடத்திப் பொருளிலுள்ள தன்னியல்பு எலக்ட்ரானின் இயக்கத்திற்கு ஒப்பானதாகும்.

படத்தில் ஓர் ஆர்சனிக் தூசு அணு ஜெர்மேனியம் அணுவில் கலக்கப்பட்டிருப்பதைக் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஆர்சனிக் ஐந்து இணைதிற எலக்ட்ரான்களைப் பெற்றிருக்கிறது. ஏனெனில், அது ஓர் ஐந்து இணைதிற அணு (pentavalent atom). இதில் நான்கு இணைதிற எலக்ட்ரான்கள் ஆர்சனிக் அணுவைச் சுற்றியுள்ள நான்கு ஜெர்மேனியம் அணுக்களோடும் பிணைப்புக் கொள்ளுகின்றன. நான்கு ஜெர்மேனியம் அணுக்களின் நான்கு இணைதிற

எலக்ட்ரான்களோடு இந்த நான்கு எலக்ட்ரான்களும் சேர்ந்து இணைதிறப் பிணைப்பைத் தாமே அமைத்துக் கொள்ளுகின்றன. ஆர்சனிக் அணுவின் ஐந்தாவது இணைதிற எலக்ட்ரான் மட்டும் தனித்து விடப்பட்டிருப்பதைப் படத்தில் காணலாம். இது எந்த ஒரு பிணைப்புக்கும் உட்படுத்தப்படாமல் படிக அணிக் கோவையினூடே இயங்கிச் செல்லும் அளவிற்குத் தன்னியல்பு கொண்டிருக்கிறது. இதை, ஒரு மோட்டார்காரின் எடுத்துக் காட்டாகப் படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. கீழ் மட்டத்திலுள்ள எல்லா இடங்களிலும் மோட்டார் கார்கள் இருக்கின்றன. அதனோடுகூட ஒரு கூடுதலான மோட்டார் கார் மேல் மட்டத்திலிருப்பதைப் படம் காட்டுகிறது. இது தனித்து இயங்க முடியும். இது தனித்து விடப்பட்ட ஐந்தாவது இணைதிற எலக்ட்ரானைக் குறிக்கிறது.

இவ்வாறு ஒவ்வொரு தூசு அணுவும் ஒரு தனி எலக்ட்ரானைக் கொடையாக அளிக்கிறது. எனவேதான் அது ஒரு கொடை அணு (donor atom) என வழங்கப்படுகிறது. இந்தக் கொடை அணுவைத் தன்னுள் கொண்டுள்ள குறைகடத்திப் பொருள் 'கொடை வகைக் குறைகடத்தி' (donor type semi-conductor) அல்லது *n*-வகைக் குறைகடத்தி எனப்படும். இங்குத் தூசு அணுவிலிருந்து வெளிவரும் மின்னூட்ட ஊர்திகள் (current carriers) எதிர் மின்னூட்டங் கொண்ட எலக்ட்ரான்கள் ஆகையால் (negative charged electrons) அவை '*n*-வகைக் குறைகடத்திகள்' எனப்பட்டன. தூசு அணுக்களால் கொடையாக அளிக்கப்பட்ட தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை இணைதிறப் பிணைப்பு உடைவதால் விடுவிக்கப்படும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை விடப் பலமடங்கு மிகுதியாக இருக்கும். எனவே, கொடை அணுக்களால் (donor atoms) கொடுக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான்கள் 'மிகுதி எலக்ட்ரான்கள்' (excess electrons) என்றும் கூறப்படும்.

ஒவ்வொரு கொடை அணுவும் தன்னிடமுள்ள ஓர் எலக்ட்ரானைக் கொடுத்து விடுவதால் அது $+1$ நேர் மின்னூட்டம் கொண்டதாக இருக்கும். இது அசையாது அணிக்கோவையில் இணைதிறப் பிணைப்பில் பிணைக்கப்பட்டு விடுகிறது. எனவே, இது 'நகரா மின்னூட்டம்' (immobile charge) அல்லது 'பிணைக்கப் பட்ட மின்னூட்டம்' (bound charge) எனப்படுகிறது. இந்தக் கொடையணுவால் கொடுக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான் 'நகரும் மின்னூட்டம்' (mobile charge) அல்லது 'கடத்தி எலக்ட்ரான்கள்' (conduction electrons) எனப்படும்.

மிகுதி எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை கொடை அணுக்களின் எண்ணிக்கையைப் பொருத்து அமையும். இருந்தாலும் இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து விடுவிக்கப்படும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை இது விஞ்சியிருக்கும். அதிக அளவு வெப்பநிலை நெடுக்கத்தில் n-வகைக் குறைகடத்தியின் கடத்துதிறன் (conductivity) ஏறத்தாழ மாறாதிருக்கும். இருந்தாலும் இதற்கு இரு விதிவிலக்குகள் உண்டு. (1) $100°K$ வெப்பநிலைக்குக் கீழே எல்லாத் தூசு அணுக்களும் அயனியாக்கப்படுவதில்லை. எனவே, தூய குறைகடத்திப் பொருளைப்போலவே, இதன் கடத்து திறனும் வெப்பநிலையைப் பொருத்து அமையும். (2) மற்றொரு விதிவிலக்கு உயர் வெப்பநிலைகளில் தோன்றும். வெப்பநிலை உயர உயர இணைத்திறப் பிணைப்புகள் தொடர்ந்து உடைந்துகொண்டே போகும். இதனால், மேலும் மேலும் தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்கள் விடுபட்டுக்கொண்டே போகும். ஆகவே, கடத்து எலக்ட்ரான் களின் எண்ணிக்கையும் தொடர்ந்து உயர்ந்துகொண்டே போகும். ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் இவ்வாறு பிணைப்பி லிருந்து விடுபட்ட எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் தூசு கொடை அணுக்களால் அளிக்கப்பட்ட மிகுதி எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் சமமாகிவிடும். இந்த வெப்பநிலைக்கு மேலே n-வகைக் குறைகடத்தியின் கடத்துதிறனும் வெப்பநிலையோடு உயரத் தொடங்கும்.

அறை வெப்பநிலையில் ($300°K$) ஜெர்மேனியத்தில் வெப்ப எழுச்சியால் இணைதிறப் பிணைப்புடைந்து விடுபட்டுள்ள எலக்ட்ரான்களின் செறிவு $2 \cdot 5 \times 10^{13}$ / செ.மீ^{3} இருக்கும். கொடையணுக்களின் செறிவு (ஒரு கன சென்டிமீட்டருக்கு கொடையணுக்களின் எண்ணிக்கை) இந்த மதிப்பைவிட மிகுதி யாக இருந்தால் அது ஒரு n-வகைப் பொருளாகும். இந்த மதிப்போடு ($2 \cdot 5 \times 10^{13}$ / செ.மீ^{3}) ஒப்பிடுகையில் கொடை யணுக்களின் செறிவு மிகமிகச் சிறியதாக இருந்தால் இத்தகைய குறைகடத்திப் பொருள் 'தூய குறைகடத்திப் பொருள்' எனக் கூறப்படலாம்.

தூசு கொடையணுக்களின் செறிவு 10^{11}க்கும் 10^{13}க்கு மிடையே உள்ள குறைகடத்திகள் எஞ்சிய தூசுகளைப் (residual impurities) பெற்றிருப்பதாகச் சொல்லப்படுகின்றன. அவை γ-வகைக் குறைகடத்திகள் எனப் பெயரிடப்பட்டுள்ளன. இவை அறை வெப்பநிலையில் தூய குறைகடத்தியாகச் செயல்படும். $250°K$ வெப்பநிலைக்குக் கீழே இவை n-வகைக் குறைகடத்தியாகச் செயல்படத்தொடங்கும்.

ஏற்பி வகை அல்லது *P*-வகைக் குறைகடத்தி

தூய குறைகடத்திப் பொருளின் இணைதிறனைவிடக் கலக்கப் படும் தூசு அணுக்களின் இணைதிறம் குறைவாக இருந்தால் அது ஒரு 'ஏற்பி வகை' (acceptor type) அல்லது P-வகை அல்லது நேர் வகை (Positive type) எனப்படும்.

ஜெர்மேனியம் அணுக்கள் நான்கு இணைதிறம் கொண்டவை. இவற்றோடு மூன்று இணைதிறம் கொண்ட (Trivalent) தூசு அணுக்களைக் கலந்து *P*-வகைக் குறைகடத்தித் தோற்றுவிக்கப்படு கிறது. போரான் (Boron), கேலியம் (Gallium), இண்டியம் (Indium), அலுமினியம் (Aluminium) ஆகியவை மூன்று இணைதிறம் கொண்டவை. இவை தூசு அணுக்களாகப் பயன்படுத்தப் படலாம்.

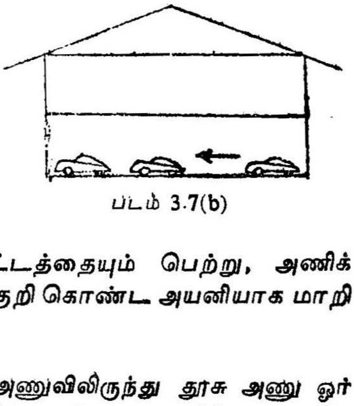
இந்தத் தூசு அணுக்களின் அளவுகூட ஜெர்மேனிய அணுக் களின் அளவுக்கு ஏறத்தாழச் சமமாயிருக்கின்றது. இந்தத் தூசு அணுக்கள் படிக அணுக்கோவையில் ஜெர்மேனிய அணுக்களை வெளியேற்றிவிட்டுத் தான் அந்த இடத்தில் அமர்ந்து கொள் கின்றன. இந்தத் தூசு அணுக்களின் எண்ணிக்கை ஜெர்மேனியம் அணுக்களின் எண்ணிக்கையோடு ஒப்பிடப்படும்போது மிகக் குறைவாகவே யிருப்பதால் (10^6 அணுவுக்கு ஓர் அணு வீதம்) ஒவ்வொரு தூசு அணுவும் ஜெர்மேனியம் அணுக்களால் சூழப் பட்டிருக்கும். ஒவ்வொரு தூசு அணுவைச் சுற்றியும் சமதொலைவு களில் நான்கு ஜெர்மேனியம் அணுக்கள் இருக்கும். இந்த நான்கு ஜெர்மேனிய அணுக்கள் ஒவ்வொன்றும் ஓர் இணைதிற எலக்ட்ரானைப் பயன்படுத்தித் தூசு அணுவின் இணைதிற எலக்ட்ரானோடு பிணைத்து இணைதிறப் பிணைப்பை ஏற்படுத்திக் கொள்ள முயலும். தூசு அணுவுக்கு இத்தகைய நான்கு இணைதிறப் பிணைப்பை ஏற்படுத்திக்கொள்ள நான்கு இணைதிற எலக்ட்ரான்கள் தேவைப்படுகின்றன. ஆனால், இந்தத் தூசு அணு விடம் மூன்றே மூன்று இணைதிற எலக்ட்ரான்கள்தாம் உள்ளன. இவை ஒவ்வொன்றும் அடுத்தடுத்துள்ள ஜெர்மேனிய அணுக் களின் ஒவ்வோர் இணைதிற எலக்ட்ரான்களுடனும் பிணைப்பை ஏற்படுத்திக்கொண்டு இணைதிறப் பிணைப்பை அமைக்கின்றன.

படம் 3.7a-ல் காட்டியுள்ளபடி படிக வடிவமைப்பில்(நான்கு இணைதிறம் கொண்ட ஜெர்மேனியம் அணுக்கள்) ஒவ்வொரு ஜெர் மேனிய அணுவும் நான்கு இணைதிறப் பிணைப்பை அமைத்துக் கொள்ள முற்படுவது இயற்கை. ஆனால், மூன்று இணைதிறங் கொண்ட தூசு அணுவிடம் ஓர் எலக்ட்ரான் குறைகிறது. எனவே,

இந்தத் தூசு அணு அடுத்துள்ள பகுதிகளிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரானை எடுத்துக்கொள்ள ஒரு வாய்ப்பை எதிர்நோக்கும். வெப்ப எழுச்சியால் அடுத்துள்ள ஜெர்மேனியம் அணுவின் இணைதிறப் பிணைப்பிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரான் இந்தத் தூசு எலக்ட்ரான் அருகே வர வாய்ப்புண்டு. இந்தத் தகுந்த வாய்ப்புக் கிடைத்தவுடன் தூசு அணுவானது அத்தகைய ஓர் எலக்ட்ரானைப் பிடித்து எடுத்துக் கொள்ளும்.

இவ்வாறு எலக்ட்ரானைப் பிடித்து எடுத்துக்கொள்ளத் தேவையான ஆற்றல் மிகக் குறைவே ஆகும். இது அலுமினியம் தூசு அணு பயன்படுத்தப்படும்போது ஜெர்மேனியத்திற்கு 0·01 எலக்ட்ரான் வோல்ட், சிலிக்கானுக்கு 0·06 எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆகும். அறை வெப்பநிலையில் இந்தக் குறைந்த ஆற்றல், வெப்ப எழுச்சியால் மிக எளிதாக விரைவில் கிடைக்கும்.

இவ்வாறு ஓர் எலக்ட்ரானைப் பிடித்து எடுத்துக்கொண்ட தூசு அணு உடனடியாக நான்காவது இணைதிறப் பிணைப்பை அடுத்துள்ள நான்காவது ஜெர்மேனிய அணுவுடன் அமைத்துக்கொண்டு விடும். ஒவ்வொரு தூசு அணுவும் இவ்வாறு படிக அணுக்கோவையில் நகர முடியாதபடி நான்கு இணைதிறப் பிணைப்புகளால் நிலைநிறுத்தப்படுகிறது. ஒவ்வொரு தூசு அணுவும் ஒரு கூடுதல் எலக்ட்ரானைப் பெற்று, அதனால் ஓரலகு எதிர் மின்னூட்டத்தையும் பெற்று, அணிக்கோவையில் நகரமுடியாத எதிர்க்குறி கொண்ட அயனியாக மாறி விடுகிறது.



படம் 3.7(b)

அடுத்துள்ள ஜெர்மேனியம் அணுவிலிருந்து தூசு அணு ஓர் எலக்ட்ரானை எடுத்துக்கொண்டபின், அந்த அணுவில் ஒரு துளை (எலக்ட்ரான் இல்லாத காலியிடம்) தோன்றியிருக்கும். இந்தத் துளையானது அணிக்கோவையினூடே வெப்ப எழுச்சியால் அங்குமிங்கும் ஒழுங்கற்று நகரத்தொடங்கும். இந்தத் துளையின் இயக்கம் இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து அங்குத் தோன்றிய துளையின் இயக்கத்தை ஒத்திருக்கும். வெளியிலிருந்து ஒரு மின்புலம் அமைக்கப்பட்டால் இந்தத் துளைகள் மின்புலத்தின் வழியே நகர்ந்து செல்லும். இவற்றின் நகர்வு மின்னோட்டத்தில் பங்கு கொண்டு உதவும்.

ஒவ்வொரு தூசு அணுவும் அடுத்துள்ள ஜெர்மேனிய அணுவிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரானைப் பிடித்து எடுத்துக்கொண்டு விடும். அல்லது ஏற்றுக்கொண்டு விடும். எனவே, இந்தத் தூசு அணு ஓர் 'ஏற்பி அணு' (acceptor atom) எனக் கூறப்படுகிறது. இத்தகையத் தூசு அணுக்களால் தோற்றுவிக்கப்படும் துளைகள், இணைதிறப் பிணைப்புகள் உடைந்து தோன்றும் துளைகளைவிட எண்ணிக்கையில் மிகுதியாக இருக்கும். எனவே, இவை 'மிகுதித் துளைகள்' (excess holes) எனப்படும். ஏற்பி அணுக்களைத் தூசு அணுக்களாகப் பெற்றுள்ள குறைகடத்தி, ஏற்பி வகை அல்லது *P*-வகை அல்லது நேர்வகைக் குறைகடத்தி எனப்படும். தூசு அணுவினுல் தோன்றும் மின்னூட்ட ஊர்திகள் நேர்மின்னூட்டத்தைச் சுமந்து செல்வதால் இது P-வகை அல்லது நேர்வகை ஊர்திகள் எனப்படும்.

படத்தில் துளை தோன்றும் முறையை மோட்டார் கார் எடுத்துக்காட்டில் விளக்கப்பட்டிருக்கிறது. கீழ்மட்டத்தில் ஒரு மோட்டார் கார் இல்லை. இது ஒரு துளையைக் குறிக்கிறது. இங்கு மோட்டார் காரின் இயக்கம் ஏதுவாகிறது. இது *P*-வகைக் குறைகடத்தியில் துளை தோன்றும் முறையையும் அதன் இயக்கத்தையும் விளக்கும் எடுத்துக்காட்டாகும்.

அறை வெப்பநிலையில் ஏறத்தாழ எல்லா ஏற்பி அணுக்களும் அயனியாக்கப்படுகின்றன. எனவே, நகரும் நேர்மின்னேட்டங்களின் (துளைகள்) — எண்ணிக்கை ஏற்பி அணுக்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாகிறது.

அறை வெப்பநிலையில் வெப்ப எழுச்சியால் இணைதிறப் பிணைப்புகள் உடைந்து தோன்றும் துளைகளின் செறிவைவிட ($2\cdot5 \times 10^{13}$ / க.செ மீ) ஏற்பி அணுக்களின்-செறிவு மிகுதியாக இருந்தால் அது ஒரு *P*-வகைக் குறைகடத்தி எனப்படுகிறது. ஏற்பி அணுக்களின் செறிவு இந்த மதிப்போடு ($2\cdot5 \times 10^{13}$/க.செ.மீ) ஒப்பிடப்படும்போது மிகக் குறைவாக இருந்தால் குறைகடத்தி தூய குறைகடத்திபோல் செயல்படும். அதைத் தூய குறைகடத்தி என்றே சொல்லலாம்.

தூசு ஏற்பி அணுக்களின் செறிவு 10^{11}க்கும் 10^{13}க்கு மிடையே உள்ள குறைகடத்திகள் எஞ்சிய தூசுகளைப் பெற்றிருப்பதாகச் சொல்லப்படுகின்றன. இவை அறை வெப்பநிலையில் தூய குறைகடத்திகளாகச் செயல்படும். 250°K வெப்பநிலைக்குக் கீழே இவை P-வகைக் குறைகடத்தியாகச் செயல்படத்தொடங்கும். இத்தகைய குறைகடத்திகள் π-வகைக் குறைகடத்திகள் எனப்படும்.

கீழ்வரும் அட்டவணையில் தூசு அணுக்களின் அயனியாக்கும் ஆற்றல் எலக்ட்ரான் வோல்ட்டில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

அட்டவணை

தூசு அணுக்களின் அயனியாக்கும் ஆற்றல்கள்

தூசு அணுக்கள்	அயனியாக்கும் ஆற்றல்-எலக்ட்ரான் வோல்ட்டில்	
	ஜெர்மேனியம்	சிலிக்கான்
கொடையணுக்கள் :		
பாசுபரஸ்	0·012	0·044
ஆர்சனிக்	0·0127	0·049
ஆன்டிமொனி	0·0096	0·039
பிஸ்மத்	—	0·067
ஏற்பியணுக்கள் ;		
போரான்	0·0104	0·045
அலுமினியம்	0·0102	0·057
கேலியம்	0·0108	0·065
இண்டியம்	0·0112	0·160

மேலேயுள்ள அட்டவணையில் ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகியவற்ருேடு பொதுவாகக் கலக்கப்படும் கொடையணுக்கள், ஏற்பியணுக்கள் ஆகியவற்றின் அயனியாக்கும் ஆற்றல் கொடுக்கப் பட்டுள்ளது. அட்டவணையிலிருந்து, சிலிக்கானுக்கு அயனியாக்கும் ஆற்றல் மிகுதி என்றும், சிலிக்கானுக்கு இண்டியம் ஒரு வளமற்ற ஏற்பி அணு என்றும் தெரிகிறது.

அடுத்துள்ள அட்டவணையில் ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகியவற்றின் மின்கடத்தலை ஒட்டிய குணங்கள் ஒப்பிட்டுக் காட்டப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை

ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகியவற்றில் தூசு அணுவால் மின்கடத்தல்

கடத்தும் வகை	n-வகை அல்லது மிகுதி வகை	p-வகை அல்லது குறை வகை
கடத்தும் ஊர்தி	மிகுதி எலக்ட்ரான்கள்	துளைகள்
ஊர்தி இயங்கும் ஆற்றல் பட்டை	தூலி ஆற்றல் பட்டை அல்லது கடத்தும் ஆற்றல் பட்டை	இணைதிறப் பிணைப்பு அல்லது இணைதிற ஆற்றல் பட்டை
ஊர்தியின் குறி	எதிர்க் குறி	நேர்க் குறி
தூசு அணுவின் பெயர்	கொடையணு	ஏற்பியணு
பயன்படும் தூசு அணுக்கள்	பாசுபரஸ் P ஆர்சனிக் As ஆன்டிமொனி Sb பிஸ்மத் Bi	போரான் B அலுமினியம் Al கேலியம் Ga இண்டியம் In

எலக்ட்ரான், துளை ஆகியவற்றின் செறிவுகள்

எலக்ட்ரான், துளை இரண்டுமே மின்னோட்டத்தை எடுத்துச் செல்கின்றன. எனவே, அவை மின்னோட்ட ஊர்திகள் (current carriers) அல்லது பொதுவாக, ஊர்திகள் எனப்படுகின்றன. தூய குறைகடத்தி அல்லது தூசு கலக்கப்பட்ட குறைகடத்தி ஆகிய இரண்டிலுமே எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் உடனிருக்கின்றன. தூய குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான் செறிவு, துளைச்செறிவு ஆகிய இரண்டும் சமமாக இருக்கும். தூசு கலக்கப்பட்ட குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான் செறிவும் துளைச்செறிவும் கொடைத் தூசு அணு அல்லது ஏற்பித் தூசு அணு ஆகியவற்றின் அடர்த்தியைப் பொருத்து அமைகிறது. கொடை அணு அல்லது ஏற்பி அணு இவையிரண்டில் எது அதிகமாக உள்ளதோ அதைப் பொருத்துத் தூசு கலக்கப்பட்ட குறைகடத்தி n-வகை அல்லது p-வகை என்று சொல்லப்படுகிறது. இத்தகைய குறைகடத்திகளில்

மிகுதியாக இருக்கின்ற ஊர்தி 'பெரும்பான்மை ஊர்திகள்' (mejority carriers) எனப்படும். மற்றவை 'சிறுபான்மை ஊர்தி கள்' (minority carriers) எனவும் கூறப்படுகின்றன.

n-வகைக் குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான்கள் பெரும்பான்மை ஊர்திகளாகவும், துளைகள் சிறுபான்மை ஊர்திகளாகவும் உள்ளன. p-வகைக் குறைகடத்தியில் துளைகள் பெரும்பான்மை ஊர்திக ளாகவும் எலக்ட்ரான்கள் சிறுபான்மை ஊர்திகளாகவும் உள்ளன. பெரும்பான்மை ஊர்திகள் கொடை அணுக்களாலோ அல்லது ஏற்பி அணுக்களாலோ அல்லது இணைதிறப் பிணைப்பு உடைவ தாலோ தோன்றுகின்றன. சிறுபான்மை ஊர்திகள் வெப்ப எழுச்சியால் தோன்றுகின்றன.

தூய குறைகடத்திகளில் இணைதிறப் பிணைப்பு உடைவதனுல் மட்டுமே எலக்ட்ரான்களும், துளைகளும் தோற்றுவிக்கப்படுகின் றன. எனவேதாம் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் துளை களின் எண்ணிக்கையும் சமமாயிருக்கின்றன. n-எலக்ட்ரான் செறிவையும் p-துளைச்செறிவையும் குறிக்கட்டும். ni-என்பது ஒரு தூய குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான் அல்லது துளைச்செறிவைக் குறித்தால், $n=p=n_i$ ஆகும். இந்தச் செறிவு n_i எலக்ட்ரான்-துளைஇரட்டை தோற்றுவிக்கப்படும் வீதத்தையும் ஒன்றிடும் செயல்வீதத்தையும் பொருத்திருக்கும். எனவே, இந்தச் செறிவு n_i முடிவாக ஒரு வெப்பநிலைச்சார்பு (function of temperature) ஆகும். n-வகைக்குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான் செறிவு n_iஐ விடப் பலமடங்கு மிகுதியாயிருக்கும். இதன் விளைவாக ஒரு துளை ஓர எலக்ட்ரானைச் சந்திக்கும் நிகழ்வாய்ப்பு (Probability) மிகுதி யாகிறது. இத்தகைய ஒவ்வொரு சந்திப்பிலும் எலக்ட்ரானும் துளையும் ஒன்றி மறைந்துவிடுகின்றன. இதனுல், துளைகளின் செறிவு தூய குறைகடத்திச் செறிவு-n_i-க்கும் குறைவாக ஆகி விடுகிறது. இதில் எலக்ட்ரான் செறிவும் குறைகிறது. இருந் தாலும் n_i-க்குக் கீழாகக் குறைவதில்லை. தூய குறைகடத்திக்கு ஏற்பித்தூசு அணு கலக்கப்படும்போதுகூட இதேபோன்ற விளைவு கள் தாம் தோன்றுகின்றன. இதிலும் எலக்ட்ரான்-துளை ஒன்றிடும் செயல்வீதம் உயர்ந்துவிடுகிறது. இதனுல் எலக்ட்ரான் செறிவு n_i-க்கும் குறைவாக ஆகிவிடுகிறது. துளையின் செறிவு குறைந் தாலும் n_i-க்குக் கீழாகக் குறைவதில்லை.

தூசு கலக்கப்பட்ட இருவகைக் குறைகடத்திகளிலும் எலக் ட்ரான், துளை ஆகியவற்றின் செறிவு, தூய குறைகடத்திச் செறிவு n_i-யோடு கீழ்க்கண்டவாறு ஏறத்தாழத் தொடர்புடையதாக இருக்கிறது.

$$n \cdot p = n_i^2 \qquad 3 \cdot 1$$

நடைமுறையில் தூசு அணுக்களின் செறிவு தூய குறை கடத்திச்செறிவுடன் ஒப்பிடும்போது மிக அதிகமாக இருக்கும்படிச் (1000 மடங்கு) செய்யப்படுகிறது. கொடைத்தூசு அணுக்களைப் பொறுத்தவரை கொடை அணுக்களின் செறிவு N_d தூய குறை கடத்திச்செறிவு n_i-ஐவிட மிகுதியாக மேம்பட்டிருக்கும். எனவே, தனி எலக்ட்ரான் செறிவும் (n) தூய குறைகடத்திச் செறிவு n_i-ஐ விட மேம்பட்டிருக்கும். ஆகவே சமன்பாடு 3.1-ன்படி துளைகளின் செறிவு-p, தூய குறைகடத்திச் செறிவு n_i-ஐவிட மிகமிகக் குறைந்து காணப்படும். இந்தச் சூழ்நிலையில் குறைகடத்தியி னுள்ளே மின்னோட்டமானது ஏறத்தாழ முழுவதும் எலக்ட்ரான் களாலேயே நடைபெறுகிறது. மின்னோட்டத்தில் துளையின் பங்கு ஏறத்தாழ எதுவுமில்லை என்று சொல்லும் அளவுக்குக் குறைவாகவே உள்ளது. மேலும், தூய குறைகடத்திச் செறிவைவிடக் கொடை யணுக்களின் செறிவு பெருமளவு மிஞ்சியிருப்பதால் பெரும் பான்மை ஊர்திகளின் செறிவு (n-வகைக் குறைகடத்தியில் எலக்ட் ரான்கள்) கொடையணுக்களின் செறிவு Nd-க்கு ஏறத்தாழச் சமமா யிருக்கும். இங்கு ஒவ்வொரு கொடையணுவும் அயனியாக்கப் படுகிறது என்று எடுத்துக்கொண்டால்தான் இந்த விளக்கம் ஒத்துவரும்.

P-வகைக் குறைகடத்திகளில் ஏற்பியணுக்களின் செறிவு Na, தூய குறைகடத்திச் செறிவு n_i-ஐவிட பெருமளவு மிஞ்சியிருக்கும். ஒவ்வொரு ஏற்பி அணுவும் அயனியாக்கப்படுகிறது என்று கருதிக்கொண்டால் தூய குறை கடத்திச் செறிவு n_i ஐவிட துளை களின் செறிவு பெருமளவு மிஞ்சியிருக்கும். இதனால், சமன்பாடு 1-ன்படி எலக்ட்ரான்களின் செறிவு தூய குறைகடத்திச் செறிவு n_i-ஐவிட மிகமிகக் குறைவாக இருக்கும். எனவே, குறைகடத்தி யினுள்ளே மின்னோட்டம் முழுவதும் ஏறத்தாழப் பெரும்பான்மை ஊர்திகளான துளைகளால் மட்டுமே நடைபெறுகிறது. மின் னோட்டத்தில் சிறுபான்மை ஊர்திகளான எலக்ட்ரான்களின் பங்கு, ஏறத்தாழ எதுவுமில்லை என்று சொல்லுமளவுக்கு மிகமிகக் குறைவாக உள்ளது. இங்குப் பெரும்பான்மை ஊர்திகளின் செறிவு ஏற்பி அணுக்களின் செறிவு N_a-க்கு ஏறத்தாழச் சமமாக இருக்கும். $N_a \simeq P$. எலக்ட்ரான்களின் செறிவு $n \ll N_a$.

கொடை அணுவகை, ஏற்பி அணுவகை ஆகிய தூசுகள் ஒரு சேர ஒரு குறைகடத்தியிலிருந்தால் அப்போது n-வகை ஊர்திகள், p-வகை ஊர்திகள் ஆகியவற்றின் மொத்தச் செறிவுகள், சமன்பாடு

3·1-ல் தரப்பட்டுள்ளது. இங்குப் பெரும்பான்மை ஊர்திகளின் எண்ணிக்கை சிறுபான்மை ஊர்திகளின் எண்ணிக்கையை மிக மிகச் சிறியதாக்குகிறது. இதன் விளைவாகக் கடத்துதிறன் மிகக் குறைந்துவிடும். இந்தக் கடத்துதிறன் தூசு அணு இல்லாத போது உள்ள கடத்துதிறனைவிடக் குறைவாயிருக்கும். இதை ஓர் எடுத்துக்காட்டால் விளக்குவோம். ஒரு குறைகடத்திக்கு $Nd = 100n_i$, $N_a = 10n_i$, $N_a = 0 \cdot 1N_d$-ஆக இருக்குமாறு தூசு அணுக்கள் கலக்கப்படுகின்றன. இங்கு Na-ஏற்பியணுக்களால் தோற்றுவிக்கப்பட்ட துளைகளுடன் Na எண்ணிக்கையுள்ள எலக்ட்ரான்கள் ஒன்றிவிடும். எனவே, மீதமுள்ள தனி எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை $= 0 \cdot 9\ N_d = 90\ n_i$ ஆகும். இவைதாம் பெரும்பான்மை ஊர்திகளாகச் செயல்படும். சிறுபான்மை ஊர்திகளான துளைகள் மிகமிகக் குறைந்த அளவுதாம் உள்ளன. இதனால், குறைகடத்தி n-வகை என்றே கருதப்படலாம். இதற்கு மாறாக ஏற்பி அணுக்களின் செறிவு கொடை அணுக்களின் செறிவை மிஞ்சியிருந்தால் துளைகள் பெரும்பான்மை ஊர்திகளாகின்றன. இங்கு, குறைகடத்தியை P-வகைக் குறைகடத்தி என்றே கூறலாம்.

சமன்பாடு 3·1-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ள n_i^2-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

ஜெர்மேனியத்தில் $n_i^2 = n \times p = [2 \cdot 5 \times 10^{13}/\text{செ.மீ}^3]^2$

$= 6 \cdot 25 \times 10^{26}$ செ.மீ$^{-6}$ஆகும்.

சிலிக்கானில் $n_i^2 = n \times p = 2 \cdot 59 \times 10^{20}$ செ.மீ$^{-6}$ஆகும்.

இவை இரண்டு மதிப்புகளும் $300°\ K$ வெப்பநிலைக்குக் கணக்கிடப்பட்டவையாகும்.

தூசு அணுச்செறிவு மிகுந்திருக்கும் குறைகடத்திகள்

டயோடுகள், டிரான்சிஸ்டர்கள் ஆகியவற்றில் பயன்படுத்தப்படும் ஜெர்மேனியம் அல்லது சிலிக்கான் ஆகியவற்றின் மின் தடை 0·1-லிருந்து 10 ஓம்-செ·மீ அளவுவரை யிருக்கும். இவற்றில் தூசு அணுச்செறிவு கன சென்டிமீட்டருக்கு 10^{14}-லிருந்து 10^{16} வரையிருக்கும். கன சென்டிமீட்டருக்கு 10^{14} அணு கலக்கப்பட்டிருந்தால் அது 'எளிய கலப்பு' (light doping) எனப்படுகிறது. 10^{17} அணு கலக்கப்பட்டிருந்தால் அது 'வீறூர்ந்த கலப்பு' (heavy doping) எனப்படுகிறது. உயர் அதிர்வெண் தரும் கருவிகள், மிகுந்த ஆற்றலில் செயல்படும் கருவிகள் ஆகியவை தயாரிக்க இத்தகைய வீறூர்ந்த கலப்படம் செய்யப்பட்ட குறைகடத்திகளே பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

கன செண்டிமீட்டருக்கு 10^{17} அல்லது 10^{18} தூசு அணு கலக்கப்பட்ட வீறுர்ந்த கலப்படக் குறைகடத்தி, குறைகடத்தியாகச் செயல்படுவதாகச் சொல்லமுடியாது. இதனுடைய கடத்து திறன் உலோகத்தின் கடத்துதிறனுக்கு ஒப்பானதாக இருக்கும். இத்தகைய குறைகடத்திகள், 'சீர்கேடுற்ற' அல்லது 'இனப் பண்பழிந்த' குறைகடத்திகள் (Degenerate Semi-conductor) என்று கூறப்படுகின்றன.

தூய குறைகடத்தி, தூசு கலக்கப்பட்ட குறைகடத்தி ஆகியவற்றின் கடத்துதிறன்

ஒரு குறைகடத்தியில் மின்னோட்டத்தில் எலக்ட்ரான்கள், துளைகள் ஆகிய இரண்டுமே பங்குகொள்கின்றன. ஒரு குறைகடத்தியின் கடத்துதிறன் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் தரப்படுகிறது.

$$\sigma = q \left[P\mu_p + n\mu_n \right] \qquad \ldots\ldots 3{\cdot}2$$

σ-என்பது கடத்துதிறன்— மோ/மீட்டர்

q-என்பது எலக்ட்ரானின் (அல்லது துளையின்) மின்னூட்ட அளவு (கூலூம்பில்).

n ,pஆகியவை முறையே எலக்ட்ரான் செறிவு, துளைகளின் செறிவைக் குறிக்கும் (க.செ.மீக்கு ஊர்திகளின் எண்ணிக்கை).

μ_n, μ_p-ஆகியவை முறையே எலக்ட்ரான்கள், துளைகளின் நகர் திறன் (mobility) [மீட்டர்/விநாடி/வோல்ட்/மீட்டர்].

q—ஒரு மாறிலி : μ_p, μ_n ஆகிய இரண்டும் ஒரு குறிப்பிட்ட குறைகடத்திக்கு மாறிலிகளாகும். எனவே, சமன்பாடு 3·2-ன் படி குறைகடத்தியின் கடத்துதிறன் ஊர்திகளின் அடர்த்திக்கு நேர் விகிதத்திலிருப்பதைக் காணலாம்.

சமன்பாடு 3·2 தூய குறைகடத்தி அல்லது கலக்கப்பட்ட குறைகடத்தியின் கடத்துதிறனைத் தருகிறது. 'தூய குறைகடத்தியின் கடத்துதிறன்' என்று கூறப்படுகிறது. σ_i-என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படும் தூய குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் சம எண்ணிக்கையில் இருக்கவேண்டும். ஆகவே, $n=p=N_i$. தூய கடத்துதிறன் $\sigma_i = q\ N_i\ (\mu_n + \mu_p)$ .... 3·3. குறிப்பிட்ட தூய குறைகடத்திக்கு எலக்ட்ரான் நகர்வுதிறன் μ_n-ம் துளை நுகர்வுதிறன் μ_p-யும் மாறு மதிப்புகளாகும். q-ம்

மாறிலியாகும். தூய குறைகடத்திச் செறிவு N_i ஒரு வெப்ப நிலைச்சார்பு ஆகும். எனவே, தூய கடத்துதிறனும் σ_i ஒரு வெப்ப நிலைச்சார்பு (function of temperature) ஆகிறது. வெப்ப நிலை உயர உயர எலக்ட்ரான்—துளை தோற்றுவிக்கப்படும் வீதம் அதிகரிக்கிறது. இதனால், தூய குறைகடத்திச் செறிவும் அதிகரிக்கிறது. ஆனால், செறிவு மிக வேகமாக அதிகரிக்கிறது.

n--வகைக் குறைகடத்திகளில், பெரும்பான்மை ஊர்திகளான எலக்ட்ரான்களின் செறிவோடு ஒப்பிடப்படும்போது சிறுபான்மை ஊர்திகளான துளைகளின் செறிவு மிகமிகக் குறைந்ததாகும். மேலும், எலக்ட்ரான்களின் செறிவு ஏறத்தாழக் கொடையணுக்களின் செறிவுக்கு (N_d) சமமாயிருக்கும். எனவே, சமன்பாடு 2ஐப் பயன்படுத்தி *n*-வகைக் குறைகடத்திக்குக் கடத்துதிறன் கண்டால்,

$$\sigma_n \simeq q\, N_d\, \mu_n \ldots\ldots\ldots\ldots 3\cdot 4.$$

p-வகைக் குறை கடத்தியில் எலக்ட்ரான்களின் செறிவு மிகக் குறைந்திருக்கும். துளைகளின் செறிவு மிகுந்திருக்கும். மேலும் துளைகளின் செறிவு ஏற்பி அணுக்களின் செறிவுக்கு (N_a) ஏறத்தாழச் சமமாயிருக்கும். எனவே, சமன்பாடு 3.2-லிருந்து *p*-வகை குறைகடத்திக்குக் கடத்துதிறனைக் கணக்கிட்டால்

$$\sigma_p \approx q.\ N_a\, \mu_p \ldots\ldots\ldots\ldots 3\cdot 5.$$

குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான், துளை ஆகியவற்றின் ஓட்டம்

ஒரு குறைகடத்தியினுள்ளே எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் அவற்றின் வெப்ப ஆற்றலால் இங்குமங்குமாக ஒழுங்கற்ற முறையில் நேர் கோடுகளில் இயங்கும் ஒவ்வோர் ஊர்தியும் ஏதாவதொரு திசையில் சென்று ஓர் அணுக்கருவுடன் மோதிக்கொள்ளும். மோதியவுடன் விலக்கித் தள்ளப்பட்டு ஒரு புதிய திசையில் மற்றோர் அணுக்கருவுடன் மோதும்வரை சென்றுகொண்டே இருக்கும். இத்தகைய ஒழுங்கற்ற இயக்கம் ஒரு சராசரிப் பாதை நீளம் 'l' என்ற அளவால் வரையறுக்கப்படுகிறது. இரண்டு அடுத்தடுத்த மோதல்களுக்கிடையேயுள்ள சராசரி நேரம் *t*-எனக் குறிக்கப்படுகிறது. இந்த ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தின் வேகம் $v = \frac{l}{t}$ ஆகும். ஒரு குறிப்பிட்ட கால அளவில் (இது *t*-யோடு ஒப்பிடப்படும்போது அதிகம் இருக்கவேண்டும்) ஒரு ஊர்தியின் நிகர இயக்கத்தைக் கணக்கிட்டால் அது சுழியாக இருக்கும். எனவே, மின்னோட்டம் எதுவும் இருப்பதில்லை.

இருந்தாலும் குறைகடத்தியின் குறுக்கே ஒரு மின்புலம் அமைக்கப்பட்டால் இந்த ஊர்திகளின் ஒழுங்கற்ற இயக்கத்தோடு கூடவே ஒரு சீரான 'நகர்வு' (drift) இருக்கும். எனவே, துளைகள் மின்புலத்தின்வழியே மெதுவாக நகரும். இதன் விளைவால் தோன்றும் மின்னோட்டத்திற்கு 'நகர்வு மின்னோட்டம்' (drift current) என்று பெயர். இந்த நகர்வு மின்னோட்டம் ஒரு வெளி மின்புலத்தின் பயனாகத்தான் ஏற்படுகிறது.

இதற்கு மாறாகக் குறைகடத்தியில், ஊர்திகளின் அடர்த்தி சீரற்றமுறையில் விரவியிருப்பதால் 'ஊடுருவல் மின்னோட்டம்' ஏற்படுகிறது (Diffusion current).

குறைகடத்தியில் நகர்வு மின்னோட்டம்

ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் போன்ற குறைகடத்திகள் 'ஓமின்' (ohm) விதிக்குக் கட்டுப்பட்டவை. ஒரு குறைகடத்தியில் மின்னோட்டம், மின்னழுத்தம் ஆகியவற்றை இணைக்கும் சமன்பாடுகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$E = \delta J \qquad \ldots\ldots 3\cdot 6$$

$$J = \sigma E \qquad \ldots\ldots 3\cdot 7$$

E-என்பது மின்புல வலிமை (வோல்ட்/மீட்டர்)

J-என்பது மின்னோட்ட அடர்த்தி (ஆம்பியர்/சதுரமீட்டர்)

δ-என்பது மின்தடை (ஓம்-மீட்டர்)

σ-என்பது கடத்துதிறன் (மோ/மீட்டர்)

மேலும் வரையறையின்படி,

$$J = q_v \qquad \ldots\ldots 3\cdot 8.$$

q_v-என்பது நகரும் ஊர்திகளின் கன மின்னூட்ட அடர்த்தி (Volume charge density) (கூலூம்/கன மீட்டர்).

v-என்பது ஊர்திகளின் ஓட்டவேகம் (மீட்டர்/வினாடி). மின்னூட்ட அடர்த்தி என்பது ஓரலகு பருமனிலுள்ள எலக்ட்ரான் அல்லது துளைகளின் எண்ணிக்கையை ஓர் ஊர்தியின் மின்னூட்டத்தால் பெருக்கிவரும் மதிப்பாகும். ஒரு கன மீட்டருக்கு n-எலக்ட்ரான்கள் இருந்தால்,

$$q_{v1} = -q n_n \qquad \ldots\ldots 3\cdot 9.$$

q_{v1}-எலக்ட்ரானின் கன மின்னூட்ட அடர்த்தி.

q-எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் (கூலூமில்),

இதேபோன்று துளைகளின் கன மின்னூட்ட அடர்த்தி (ஒரு கன மீட்டருக்கு)

$$q_{v2} = qn_p \quad \ldots\ldots 3 \cdot 10$$

n_p-துளை அடர்த்தி (துளைகளின் எண்ணிக்கை) (ஒரு கன மீட்டரில்)

மேலும் V_n, V_p, என்பவை எலக்ட்ரான், துளை ஆகியவற்றின் ஓட்ட வேகங்களானால்,

$$J_n = -q\, n_n\, v_n \quad \ldots\ldots 3 \cdot 11$$

$$J_p = q\, n_p\, v_p \quad \ldots\ldots 3 \cdot 12$$

J_n — எலக்ட்ரான் மின்னோட்ட அடர்த்தி.

J_p — துளை மின்னோட்ட அடர்த்தி.

இவை ஆம்பியர்/சதுர மீட்டரில் இருக்கும். சமன்பாடு 3·11 3·12ஐ பொருத்த,

$$J = J_p + J_n$$

$$J = (q\, n_p\, v_p - q\, n_n\, v_n) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 3 \cdot 13$$

சமன்பாடுகள் 3·13-ஐ 3·7-ல் பொருத்த,

$$\sigma = \frac{J}{E} = \frac{I}{E}\left[qn_p v_p - qn_n v_n \right]$$

$$= q\left[n_p \frac{v_p}{E} - n_n \frac{v_n}{E} \right] \quad \ldots\ldots 3 \cdot 14$$

சமன்பாடு 3·14-லிருந்து மின்புல வலிமைக்கும் ஊர்தியின் ஓட்ட வேகத்திற்கும் ஒரு நேரான தொடர்பு இருக்கிறது என்பது தெளிவாகிறது. இந்த நேர்விகித மாறிலி, ஊர்தியின் 'நகர்வு திறன்' **(mobility)** எனப்படும்.

துளையின் நகர்வு திறன் $\mu_p = \dfrac{v_p}{E} \quad \ldots\ldots 3 \cdot 15a$

எலட்ரானின் நகர்வு திறன் $\mu_n = \dfrac{v_n}{E} \quad \ldots\ldots 3 \cdot 15b$

எலக்ட்ரான், மின்புலத்தில் எதிர்த்திசையில் நகருவதை எதிர்க்குறி (negative sign) குறிக்கிறது. μ_n-ம் μ_p-ம் ஒரு குறிப்பிட்ட குறைகடத்திப் பொருளுக்கு மாறிலிகளாக இருக்கும். ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகிய குறைகடத்திகளில், μ_p, μ_n நகர்வு திறன்கள் 9×10^4 வோல்ட்/மீட்டர் மின்புல வலிமை வரை மாறுதிருக்கின்றன.

சமன்பாடுகள் 3·14ஐயும் 3·15ஐயும் பொருத்த,

$$\sigma = q\,[\mu_p n_p + \mu_n n_n] \quad \ldots\ldots 3\cdot 16$$

தடைஎண்,

$$p = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{q\,[\mu_p n_p + \mu_n n_n]} \quad \ldots\ldots 3\cdot 17$$

$q = 1\cdot 6 \times 10^{-19}$ (கூலூம்)

p = ஓம் — மீட்டரில்

σ = மோ / மீட்டர்

n_n, n_p-கன மீட்டருக்கு ஊர்திகளின் எண்ணிக்கை. எனவே, சமன்பாடு 3·17 பரிமாணங்களின்படி சரியானதேயாகும்.

இந்தச் சமன்பாடு குறைகடத்திக் கோட்பாட்டில் மிகவும் முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாகும். எவ்வளவுக்கெவ்வளவு எலக்ட்ரானின் அல்லது துளையின் செறிவு அதிகமாக இருக்கிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு இவற்றின் நகர்வு மிகுதியாக இருக்கும். நகர்வு மிகுதியாக இருந்தால் மின்தடை குறைந்திருக்கும். கடத்துதிறன் P-மோ/மீட்டரில் குறிக்கப்படுகிறது. தடைஎண் ஓம்-மீட்டரில் குறிக்கப்படும்.

தடை எண்

ஒரு குறைகடத்தியின் தடை எண் கீழ்வரும் சமன்பாட்டால் கொடுக்கப்படுகிறது.

$$p = \frac{1}{q\,[\mu_n n + \mu_p p]} \text{ ஓம் மீட்டர்} \quad \ldots\ldots 3\cdot 18$$

தடையானது ஊர்தியின் நகர்வையும், செறிவையும் பொருத்து அமைவதால் இந்தத் தடை ஒரு வெப்பநிலைச் சார்பாக இருக்கும்,

மிகக் குறைந்த வெப்பநிலைகளில் தனிச்சுழி அருகே சில தூசு அணுக்கள் மட்டுமே அயனியாக்கப்படுகின்றன. எனவே, மின்தடை மிகமிக அதிகமாக இருக்கும். வெப்பநிலை 0°C நோக்கி உயரும் போது மேலும்மேலும் தூசு அணுக்கள் அயனியாக்கப்படுகின்றன. எனவே, மின்தடை குறைந்துகொண்டே போகிறது. 500°K அளவில் தூசு அணுக்கள் எல்லாமே ஏறத்தாழ அயனியாக்கப் பட்டுவிடும். எனவே, ஊர்திச் செறிவு ஏறத்தாழ மாறிலியாக இருக்கிறது. வெப்பநிலை மேலும் அதிகமாகப் போனால் வெப்ப எழுச்சியால் (Thermal agitation) இணைதிறப் பிணைப்புகள் ஏராள மாக உடைந்து பல நூறு ஊர்திகள் தோன்றிவிடும். இவை தூசு அணுக்களால் கொடுக்கப்பட்ட ஊர்திகளின் எண்ணிக்கையை விஞ்சியிருக்கும்.

குறைகடத்தியில் வெப்பநிலை உயர்வினால், மின்தடை குறை வதால் இது ஓர் எதிர் வெப்ப மின்தடை எண்ணைப் பெற்றிருப்ப தாகச் சொல்லப்படுகிறது. இந்தப் பண்பு குறைகடத்திகளை உலோகங்களிலிருந்து வேறுபடுத்திக் காட்டுகிறது. உலோகங்கள் நேர் வெப்ப மின்தடை எண் கொண்டவை. ஏனெனில், உலோ கத்தில் ஆற்றல் பட்டைகள் ஒன்றின்மேல் ஒன்று பொருந்தி யிருப்பதால் அதன் வெப்பநிலை உயரும்போது எலக்ட்ரான்களின் செறிவு உலோகத்தில் மாறுவதில்லை.

குறைகடத்தி தூயதாக இருக்கும்போது எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் துளைகளின் எண்ணிக்கையும் சமமாக இருக்கும் எனக் கண்டோம்.

$$n = p = n_i \qquad 3\cdot19$$

எனவே, தூய குறைகடத்தியின் மின்தடை எண்,

$$P_i \quad \frac{1}{qn_i\,(\mu_n + \mu_p)} \qquad 3\cdot20$$

அறை வெப்பநிலையில் (300°K-ல்) ஜெர்மேனியத்திற்கும், சிலிக்கானுக்கும் உள்ள மின்தடை எண் (தூய நிலை) கணக்கிடப் பட்டுள்ளது.

ஜெர்மேனியத்திற்கு $P_i = 47$ ஓம்-செ.மீ.

சிலிக்கானுக்கு $P_i = 214000$ ஓம்-செ.மீ.

இதனால்தான் சிலிக்கான் மிகுதியான ஆற்றல் இடைவெளி யைப் பெற்றிருக்கிறது. தூய குறைகடத்தியில் $n=p$ ஆக இருந்

தாலும் எலக்ட்ரானின் நகர்வுதிறன் μ_n, துளையின் நகர்வுதிறன் μ_pஐவிட மிகுதியாக இருக்கும். எனவே, மின்கடத்தல் n-வகையாகவே இருக்கும்.

தூசு அணு கலக்கப்பட்ட குறைகடத்திகளில் இயல்பான வெப்பநிலைகளில் n-வகைக் குறைகடத்திக்கு $n = N_d - N_a$ எனவும், p-வகைக் குறைகடத்திக்கு $P = N_a - N_d$ எனவும் கொள்ளலாம். இதைக் கொண்டு இந்த இருவகைக் குறைகடத்திகளின் மின் தடையைக் கணக்கிடலாம். ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் np ஒரு மாறிலியாக இருப்பதால் இரண்டு வகைக்கும் நடுநிலை சிறுபான்மை ஊர்திச் செறிவு மிகச் சிறியதாக இருக்கும். எனவே,

$$P_n = \frac{1}{q\mu_n (N_d - N_a)} \qquad \ldots\ldots 3{\cdot}21$$

$$p_p = \frac{1}{q\mu_p (N_a - N_d)} \qquad \ldots\ldots 3{\cdot}22$$

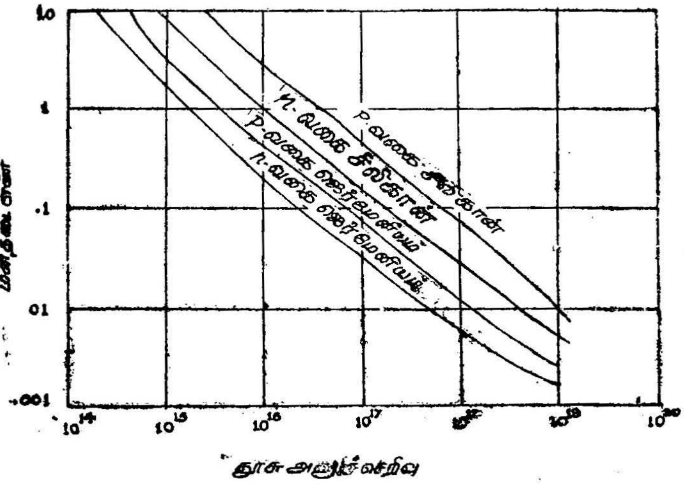
இதிலிருந்து தூசு கலக்கப்பட்ட குறைகடத்திகளில் தூசு அணுச் செறிவு, குறைகடத்தியின் மின்தடையைத் தீர்மானிக்கிறது என்று தெரிகிறது. தூசு அணுச் செறிவுக்கும் மின்தடைக்கும் உள்ள தொடர்பைப் படம் 3·8-ல் உள்ள வளைகோடு காண்பிக்கிறது. ஒரே தூசு அணு வேறுபாட்டைக் கொண்டுள்ள இரண்டு குறைகடத்திப் படிகங்கள் வெவ்வேறு மின்தடைகளைப் பெற்றிருக்கலாம். தூசு அணுக்களின் மொத்த எண்ணிக்கை $N_d \div N_a$ வெவ்வேறாக இருந்தாலும், வெவ்வேறு மின்தடைகளைக் கொண்டிருக்கும். ஒரு குறைகடத்தியில் நகர்வு திறன் குறைந்தாலும் மின்தடை மிகும்.

ஊர்திகளின் வாழ்வு நேரம்

ஒரு குறைகடத்தியிலுள்ள வெப்பநிலை வெப்ப நடுநிலைக்குத் திரும்பிவர வழியின்றி இருந்தால் உட்புகுத்தப்பட்ட ஊர்திகள் தொடர்ந்து முடிவில்லாமல் ஊடுருவிச் சென்றுகொண்டே இருக்கும். ஆனால், உண்மையில் இவ்வாறு நடப்பதில்லை. நடைமுறையில், சிறுபான்மை ஊர்திகள் இறுதியாகப் பெரும்பான்மை ஊர்திகளுடன் ஒன்றிவிடுகின்றன. சில பரிசோதனைகளில் குறைந்த ஊர்திகள் உட்புகுத்தப்பட்டு அவற்றின் செறிவைச் சிறிதுநேரம் கழித்துக் கணக்கிட்டால் அவற்றின் செறிவு குறைந்திருக்கக் காணலாம். ஓர் ஊர்தி மற்றொரு எதிர் ஊர்தியுடன் ஒன்றிவிடு

முன் அது குறைகடத்தியினுள் இருக்கின்ற நேரம் 'வாழ்வு நேரம்' (life time) எனப்படும். இந்த வாழ்வு நேரம் எலக்ட்ரானுக்கு T_n ஆகவும் துளைக்கு T_p-ஆகவும் குறிக்கப்படுகிறது.

இந்த வாழ்வு நேரமானது, ஒன்றிடும் வீதத்தின் தலைகீழ் மதிப்பாகக் கொள்ளலாம். ஓர் ஊர்தி அது ஒன்றிடுமுன்பு ஊடுருவிச்செல்லும் நீளம் 'ஊடுருவல் நீளம்' எனப்படுகிறது.



படம் 3.8
மின்தடைக்கும் தூசு அணுச் செறிவுக்கும் உள்ள தொடர்பு

ஊடுருவல் நீளத்திற்கும் வாழ்வு நேரத்திற்குமுள்ள தொடர்பு கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

$$L_p = \sqrt{D_p \; T_p} \quad \text{செ.மீ} \qquad 3 \cdot 23$$

$$L_n = \sqrt{D_n \; T_n} \quad \text{செ.மீ} \qquad 3 \cdot 24$$

D_n, D_p என்பவை முறையே எலக்ட்ரான், துளை ஆகியவற்றின் ஊடுருவல் மாறிலி ஆகும். ஊடுவருல் நீளமானது வாழ்வு நேரத்தின் இருமடி மூலத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது.

குறைகடத்திப் படிகங்களில் இந்த வாழ்வு நேரமானது எலக்ட்ரான், துளை ஆகியவை ஒன்றிடும் செயலால் தீர்மானிக்கப் படுகிறது. ஓர் எலக்ட்ரானும் ஒரு துளையும் எதிர்ப்படும்போது

அவை ஒன்றுடன்ஒன்று மோதி ஒன்றிவிடுகின்றன. இச் செயலின்போது ஆற்றல் வெளிப்படும். இது ஓர் இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து எலக்ட்ரானும் துளையும் தோன்றிடும் செயலுக்கு நேர் எதிர்ச் செயலாகும். எலக்ட்ரானும் துளையும் ஒன்றிடும் வீதம் np பெருக்குத் தொகைக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். ஏனெனில் ஓர் எலக்ட்ரான் ஒரு துளையுடன் ஒன்றிடும் வாய்ப்பானது எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்கும் துளைகளின் எண்ணிக்கைக்கும் நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது.

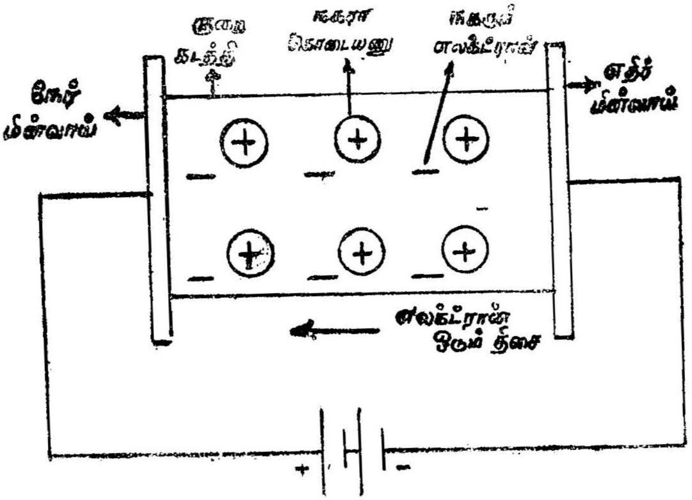
ஜெர்மேனியத்தில் ஊர்திகளின் வாழ்வு நேரம் 400 மைக்ரோ விநாடியிலிருந்து 2,000 மைக்ரோ விநாடிவரை இருக்கும். சிலிக்கானில் ஊர்திகளின் வாழ்வு நேரம் 30 மைக்ரோ விநாடியிலிருந்து 500 மைக்ரோ விநாடிவரை இருக்கும்.

ஆற்றல் பட்டைக் கொள்கையில் தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் இடைவெளியின் இடையே ஒரு சிறிய அனுமதிக்கப்பட்ட பட்டை இருக்கிறது. இது வெளித்தூசு அணுவாலோ படிகத்தின் அமைப்புக் குறையாலோ தோன்றலாம். இந்த ஆற்றல் பட்டை கடத்துப் பட்டையிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரானையோ அல்லது இணை திறப் பிணைப்பிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரானையோ பிடித்து எடுத்துக் கொள்ளும். இதனால், எலக்ட்ரான் இருந்த இடத்தில் ஒரு துளை தோற்றுவிக்கப்படும். இதேபோன்று இந்த ஆற்றல் பட்டை ஒரு துளையைப்பிடித்து எடுத்துக்கொண்டு அங்கிருக்கும் எலக்ட்ரான் உடன்—ஏற்கனவே பிடிக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான் உடன்—ஒன்றிடுமாறு செய்யலாம். அல்லது பிடித்துவைக்கப்பட்ட எலக்ட்ரானைக் கடத்துப் பட்டைக்குத் திருப்பியனுப்பி விடலாம்.

இந்த அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் பட்டையில் ஓர் எலக்ட்ரான் பிடித்துவைக்கப்படுகிறது. இந்த எலக்ட்ரான், அடுத்து ஒரு துளை அதே இடத்தைப் பிடிக்கும்வரை அங்கிருக்கும். துளை பிடிக்கப்பட்டவுடன் அங்கிருக்கும் எலக்ட்ரான் துளையுடன் ஒன்றி விடும். இவ்வாறு எலக்ட்ரானும் துளையும் ஒன்றிடும் இடமான ஆற்றல் பட்டைக்கு 'ஒன்றிடும் மையம்' (recombination centre) என்று பெயர். இந்த ஒன்றிடும் மையம் ஆற்றல் இடைவெளியில் ஒருபடியாக அமைகிறது. நிக்கல், தாமிரம் போன்ற வேற்றுப் பொருள்களால் படிக அமைப்பில் நிறைவுறுநிலைகளைத் தோற்றுவிக்கும்போது அந்த ஒன்றிடும் மையங்கள் கூடவே உருவாக்கப் படும். இதன் நிலை அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் மட்டத்தால் தீர்மானிக்கப்படும்.

எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் எதிர் எதிர்த் திசைகளில் நகருகின்றன என்பது தெளிவு. ஆனாலும், அவற்றின் மின்னூட்டங்கள் ஒன்றுக்கொன்று எதிராக இருப்பதால் நகர்வு மின்னோட்டத்தின் இரு பகுதிகளையும் நேரடியாகக்கூட்டி மொத்த நகர்வு மின்னோட்டம் கணக்கிடப்படுகிறது.

குறைகடத்தியினூடே எலக்ட்ரான்கள் ஒரு திசையிலும், துளைகள் எதிர்த்திசையிலும் தொடர்ந்து ஓடிக்கொண்டேயிருப்பதால் குறைகடத்தியின் ஒரு முனையில் எலக்ட்ரான்களும் மறு



படம் 3.9
மின்புலத்தில் n-வகைக் குறைகடத்தி

முனையில் துளைகளும் குவிந்துவிடுவதுபோல் தோன்றும். இதனால், படிகத்தின் நடுநிலைத்தன்மை அல்லது மின்னூட்டமற்ற தன்மை (neutrality) அழிந்துவிடுவதுபோலவும் தோன்றலாம். ஆனால், உண்மையில் நடப்பது என்னவென்றால் மின்னூட்டங்கள் குறைந்த இடத்தை நிரப்பப் புதிய வேறு மின்னூட்டங்கள் அந்த இடத்திற்கு விரைகின்றன. குறைகடத்தியின் இரு முனைகளிலும் இணைக்கப்பட்டுள்ள (தொட்டுக் கொண்டுள்ள) உலோக மின்வாய்கள் (Electrodes) இந்தப் புதிய கூடுதல் மின்னூட்டங்களை எடுத்துக்கொள்ளவோ அல்லது கொடுக்கவோ செய்கின்றன.

படம் 3·9-ல் ஒரு n-வகைக் குறைகடத்தி இரு உலோக மின்வாய்களுக்கிடையே வைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த n-வகைக் குறை

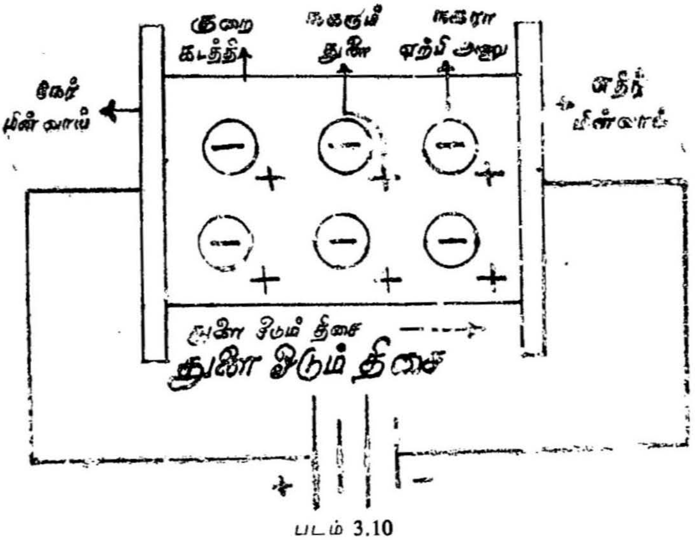
கடத்தியில் மிகுதியான தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்கள் உள்ளன. இவை ஒழுங்கற்று இங்குமங்கும் இயங்கிக்கொண்டிருக்கின்றன. இந்த எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமான நகரா கொடை அணுக்களும் உள்ளன. எண்ணிக்கையில் மிக மிகக் குறைந்த துளைகளும் உள்ளன.

நேர் மின்வாயிலிருந்து எதிர் மின்வாய் நோக்கி மின்புலம் அமைந்திருக்கிறது. இந்த மின்புலத்தின் செயலால் எலக்ட்ரான்கள் நேர் மின்வாய் நோக்கி நகருகின்றன. அதை அடைந்தவுடன் மின்வாய் உலோகத்தினுள் நுழைந்துவிடுகின்றன. இதனால், எதிர்மின்வாய் அருகேயுள்ள அயனியாக்கப்பட்ட கொடையணுக்கள் நேர்மின்னூட்டத்தை மட்டும் பெற்றிருக்கின்றன. எனவே, இந்தக் கொடை அணுக்கள் எதிர் மின்வாய் உலோகத்திலிருந்து எலக்ட்ரான்களைக் கவர்ந்து இழுத்துக்கொள்கின்றன. இவ்வாறு இழுத்துக்கொள்ளப்பட்ட எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை நேர்மின்வாய்க்குள் நுழைந்துவிட்ட எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமானதாகவே இருக்கும். ஆகவே, குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை எப்போதும் கொடையணுக்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமானதாகவே இருக்கும். குறைகடத்தி எப்போதும் மின்னூட்டமற்று நடுநிலையாகவே இருக்கும். மின்வாய்களுக்குக் கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்த வேறுபாடு முழுவதும் குறைகடத்தியில் மின்னழுத்தமாகத் தோன்றுகிறது.

படம் 3.10 ஒரு p-வகைக் குறைகடத்தி இரு உலோக மின்வாய்களுக்கிடையே வைக்கப்பட்டிருப்பதைக் காட்டுகிறது. இந்த p –வகைக் குறைகடத்தியில் நகரும் துளைகள் மிகுதியாயிருக்கும். இவை ஒழுங்கற்று இங்குமங்கும் நகரக்கூடியவை. இவற்றின் எண்ணிக்கை நகராதிருக்கும் அயனியாக்கப்பட்ட ஏற்பி அணுக்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாயிருக்கும். இதில் மிகக் குறைந்த எண்ணிக்கையுள்ள எலக்ட்ரான்களும் இருக்கும்.

நேர்மின்வாயிலிருந்து எதிர்மின்வாய்க்கு மின்புலம் இருக்கும். இந்த மின்புலத்தின் செயல்விளைவால் துளைகள் எதிர் மின்வாய் நோக்கி நகருகின்றன. எதிர்மின்வாயை அடைந்தவுடன் இந்தத் துளைகள் தனித்த எலக்ட்ரான்களை எதிர்மின்வாய் உலோகத்திலிருந்து கவர்ந்து இழுத்து அவற்றுடன் ஒன்றிவிடுகின்றன. நேர்மின்வாய்க்கருகில் இந்தத் துளைகள் நகர்ந்து போய்விட்டதால் அங்குள்ள நகரா ஏற்பி அணுக்கள் அயனியாக்கப்பட்ட நிலையில் எதிர் மின்னூட்டத்தைப் பெற்றிருக்கின்றன.

இதனால் மின்புலச் செயல்விளைவு தோன்றி, அயனியாக்கப்பட்ட ஏற்பி அணுக்களில், அவை அயனியாகக் காரணமாயிருந்த எலக்ட்ரான்கள் கழன்றுவிடுகின்றன. இந்த எலக்ட்ரான்கள் நேர்மின்வாய் உலோகத்தில் மோதி அதனுள்ளே சென்றுவிடுகின்றன. ஒவ்வோர் ஏற்பி அணுவும் இவ்வாறு ஓர் எலக்ட்ரானை இழந்த பின்பு அடுத்துள்ள அணுவிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரானை எடுத்துக் கொள்ளும் வாய்ப்பைப் பெறுகின்றன. இவ்வாறு ஓர் எலக்ட்ரானை எடுத்துக்கொண்டவுடன் அங்கு ஒரு புதிய துளை தோன்றும். இவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்பட்ட புதிய துளைகள் எதிர்மின்வாய் நோக்கி நகருகின்றன, அதே நேரத்தில் ஏற்பி அணுக்களால்



படம் 3.10

மின்புலத்தில் p-வகைக் குறைகடத்தி

பிடித்து எடுத்துக்கொள்ளப்பட்ட எலக்ட்ரான்கள் கழன்று நேர் மின்வாய் உலோகத்துள் நுழைந்துவிடுகின்றன. புதிதாகத் தோற்றுவிக்கப்படும் துளைகளின் எண்ணிக்கை, எதிர் மின்வாயை அடைந்து அழிந்துவிடும் துளைகளின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாக இருக்கும்.

எனவே, எந்த நிலையிலும் ஒரு குறைகடத்தியில் நகரும் துளைகளின் எண்ணிக்கையும் ஏற்பி அணுக்களின் எண்ணிக்கையும் சமமாக இருக்கும். எனவே, குறைகடத்தி மின்னூட்டமற்று நடுநிலையாக இருக்கும். மின்வாய்களுக்கு இடையே கொடுக்கப்

பட்ட மின்னழுத்த வேறுபாடு குறைகடத்தியில் மின்னழுத்த மாகத் தோன்றுகிறது.

குவான்டம் இயக்கவியல் அடிப்படையில் உலோகம், மின்கடத்தாப் பொருள், குறைகடத்தி ஆகியவற்றின் கடத்துதிறன்

குவான்டம் இயக்கவியலின்படி ஓர் அணுவின் நடுவில் அணுக்கரு இருக்கிறது. அதைச் சுற்றி எலக்ட்ரான்கள் பல்வேறு சுற்றுப்பாதைகளில் இயங்குகின்றன. இத்தகைய ஒவ்வொரு சுற்றுப்பாதையும் ஒரு குறிப்பிட்டநிலை ஆற்றல் மட்டத்தைக் குறிக்கின்றது. உள் சுற்றுப்பாதையின் ஆற்றல் மட்டத்தைவிட வெளிச் சுற்றுப்பாதையின் ஆற்றல் மிகுதியாயிருக்கும். ஏனெனில், உள் சுற்றுப்பாதையிலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரானை வெளிச் சுற்றுப் பாதைக்குக் கொண்டுபோக ஆற்றல் கொடுக்கப்பட வேண்டும். இந்த எலக்ட்ரான்கள் எல்லாமே அணுக்கருவைச்சுற்றி உள் சுற்றுப்பாதையிலேயே இருக்கமுயலும். ஆனால், அடிப்படை விதியின்படி ஒரே ஆற்றல் மட்டத்தில் இரண்டுக்கு மேற்பட்ட எலக்ட்ரான்கள் இருக்கமுடியாது. இந்த இரு எலக்ட்ரான்களும் கூட எதிரெதிரான தற்சுழற்சியைக் கொண்டிருக்கவேண்டும். குவான்டம் இயக்கவியல்படி வரையறுக்கப்பட்ட ஆற்றல் மட்டங் களில்தாம் எலக்ட்ரான்கள் இருக்கமுடியும். இடைப்பட்ட ஆற்றல் மட்டத்தில் இருக்க முடியாது. இதைத்தான் 'பௌலியின் தவிர்த்தல் விதி' (Pauli's Exclusion principle) என்கிறோம். எனவே, ஓர் அணுவில் எலக்ட்ரான்கள் கீழ் ஆற்றல் மட்டங்களை முதலில் நிரப்புகின்றன. பிறகு, அடுத்துள்ள ஆற்றல் மட்டங்களை வரிசையாக நிரப்பிக்கொண்டே செல்லுகின்றன. இதனால், மேல் ஆற்றல் மட்டங்கள் நிரப்பப்படாமல் காலியாக இருக்கும்.

ஒரே மாதிரியான இரண்டு அணுக்கள் அருகருகே கொண்டு வரப்பட்டால் அவற்றின் எலக்ட்ரான் சுற்றுப்பாதைகளுக் கிடையே பின்னிய செயல் விளைவு (Inter action) தோன்றுகிறது. இதன் விளைவாக ஒவ்வொரு தனித்தனி ஆற்றல் மட்டமும் சிறு வேறுபாடுடைய இரு தனித்தனி ஆற்றல் மட்டங்களாகப் பிளவு படுகின்றன. இதே போன்று N-ஒரே மாதிரியான முழுதும் ஒத்த அணுக்கள் அருகருகே வைக்கப்பட்டால் ஒவ்வோர் ஆற்றல் மட்டமும் அடுத்தடுத்து அமைந்துள்ள N-ஆற்றல் மட்டங்களாகப் பிளவுறுகின்றன.

ஒரு திடப்பொருளில் (திண்மத்தில்) ஒரே மாதிரியான ஏராள மான அணுக்கள் ஒன்றாக வைக்கப்பட்டுள்ளன. எனவே, ஒவ் வோர் ஆற்றல் மட்டமும் ஏராளமான ஆற்றல் மட்டங்களாகப்

பிளவுபட்டு அடுத்தடுத்து அமைந்துவிடுகின்றன. இவை எண்ணிக்கையில் மிகமிக அதிகமாகவும், மிக நெருக்கமாகவும், அடுத்தடுத்தும் இருப்பதால் இந்த ஆற்றல் மட்டங்கள் ஒரு தொடர் ஆற்றல் பட்டையாக (continuous energy band) அமைந்து விடுகின்றன.

இந்த ஆற்றல் பட்டைகள் வெவ்வேறு தடிமனுடையவை. அதாவது, வெவ்வேறு ஆற்றல் மட்ட நெடுக்கமுடையவை (range of energy levels). இவை ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்று, ஆற்றல் இடைவெளிகளால் (energy gaps) பிரிக்கப்பட்டிருக்கும். இந்த ஆற்றல் இடைவெளிகள் வெவ்வேறு அளவுகளையுடையவை. மேலும், ஒவ்வோர் ஆற்றல் பட்டையின் எலக்ட்ரான் கொள்ளளவு வெவ்வேறாக இருக்கும். ஒவ்வோர் ஆற்றல் பட்டையிலும் வெவ்வேறு எண்ணிக்கையுள்ள எலக்ட்ரான்கள் இடம் பெறும். ஓர் ஆற்றல் பட்டையில் அதில் இடம் பெறக்கூடிய எலட்ரான் களின் பெருமதிப்பான எண்ணிக்கையுள்ள எலக்ட்ரான்கள் இடம் பெற்று இருந்தால் அந்த ஆற்றல் பட்டை 'நிரம்பிய ஆற்றல் பட்டை' (filled energy band) எனப்படுகிறது.

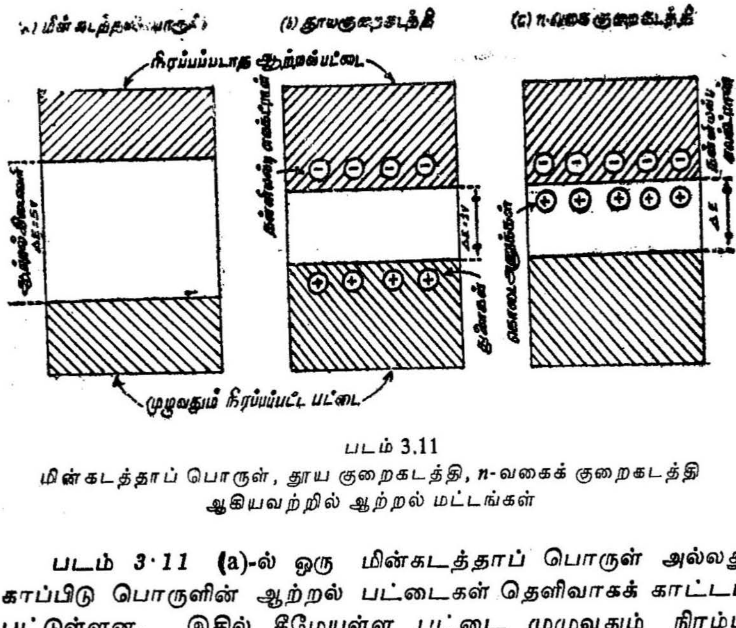
இதற்கு மாறாக ஓர் ஆற்றல் பட்டையில் இடம்பெறக்கூடிய எலக்ட்ரான்களின் பெரும்மதிப்பான எண்ணிக்கையைவிடக் குறை வான எலக்ட்ரான்கள் இருந்தால் அது 'ஒரு பகுதி நிரம்பிய ஆற்றல் பட்டை' அல்லது 'நிரம்பாத ஆற்றல் பட்டை' (unfilled energy band) எனப்படுகிறது. ஆற்றல் பட்டையில் சில எலக்ட் ரான்களாவது இருந்தால்தான்—ஆற்றல் பட்டை நிரம்பாததாக இருந்தால்தான் அந்தத் திடப்பொருளில் மின்கடத்தல் ஏதுவாகும். முன்பே கூறியபடி ஓர் ஆற்றல் பட்டையின் கீழ்மட்டங்களில் தாம் எலக்ட்ரான்கள் முதலில் நிரம்புகின்றன. அடுத்து வரிசை யாக மேல் ஆற்றல் மட்டங்களை நிரப்பிக்கொண்டு வருகின்றன. இதனால், எல்லாவற்றிலும் மேலேயுள்ள ஆற்றல் மட்டம் ஒரு பகுதி மட்டும் நிரம்பியதாக இருக்கும். ஒரு திடப்பொருளில் மின் கடத்தல் கீழ்க்கண்டவைகளைப் பொருத்திருக்கும்.

(i) மேலேயுள்ள ஆற்றல் மட்டம் முழுவதும் நிரம்பியுள்ளதா அல்லது பகுதியாக நிரம்பியுள்ளதா என்பதைப் பொறுத்தது.

(ii) நிரம்பிய பட்டைக்கும் அதை அடுத்து மேலேயுள்ள (எலக்ட்ரான் இடம் பெறாத) பட்டைக்குமிடையே உள்ள ஆற்றல் இடைவெளி.

முழுவதும் நிரம்பிய பட்டை என்றால் அதில் மின்கடத்தலில் பங்குபெறும் தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்களோ துளைகளோ இல்லை யென்று பொருள். நிரம்பாத பட்டை என்றால் மின்கடத்தலில் பங்குபெறும் தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்கள் இருக்கின்றன என்று பொருள்.

படங்கள் 3·11, 3·12 ஆகியவற்றில் உலோகங்கள் (நல்ல கடத்திகள், காப்பிடு பொருள்கள் அல்லது கடத்தாப் பொருள் கள், குறைகடத்திகள் ஆகியவற்றின் பல்வேறு ஆற்றல் பட்டை களின் நிலைகள் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன.



படம் 3.11
மின்கடத்தாப் பொருள், தூய குறைகடத்தி, *n*-வகைக் குறைகடத்தி ஆகியவற்றில் ஆற்றல் மட்டங்கள்

படம் 3·11 (a)-ல் ஒரு மின்கடத்தாப் பொருள் அல்லது காப்பிடு பொருளின் ஆற்றல் பட்டைகள் தெளிவாகக் காட்டப் பட்டுள்ளன. இதில் கீழேயுள்ள பட்டை முழுவதும் நிரம்பி யுள்ளது. அத்தோடு அது எலக்ட்ரான் இடம்பெறாத பட்டை யிலிருந்து மிக அகலமான 'ஆற்றல் இடைவெளி'யினால் பிரிக்கப் பட்டுள்ளது. இந்த ஆற்றல் இடைவெளி தடுக்கப்பட்ட இடை வெளி (forbidden region) எனப்படும். இது படத்தில் $\triangle E$ வோல்ட்டுகள் என்று காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. எனவே, ஓர் எலக்ட்ரானை இடம்பெற்ற கீழ் ஆற்றல் பட்டையிலிருந்து அடுத் துள்ள எலக்ட்ரான் இடம்பெறாத ஆற்றல் பட்டைக்கு மாற்று வதற்குத் தேவையான குறைந்த அளவு ஆற்றல் $\triangle E$ எலக்ட்ரான் வோல்ட்டுகள் ஆகும். ஓர் எலக்ட்ரானுக்கு இந்த ஆற்றலை ($\triangle E$)

எலக்ட்ரான் வோல்ட், வெப்ப எழுச்சி மூலமோ ஒளி மூலமோ அல்லது வேறு எந்த வழியிலோ கொடுக்கலாம். எலக்ட்ரான்கள் இவ்வாறு மாற்றப்பட்டபின் எலக்ட்ரான்கள் அமர்ந்திராத ஆற்றல் பட்டையில் அவை தன்னியல்பாக இயங்குவதற்குத் தேவையான இடத்தைப் பெறுகின்றன. இதன் விளைவாக மின்னோட்டம் ஏற்படுகிறது. கீழ் மட்டத்திலுள்ள ஆற்றல் பட்டையிலிருந்து எலக்ட்ரான்களை வெளியேற்றிவிட்டால் அந்த ஆற்றல் பட்டைப்பகுதி நிரப்பப்பட்ட பட்டையாக ஆகிறது. எலக்ட்ரான்கள் இருந்த இடத்தில் துளைகள் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. இந்தத் துளைகள் கீழ் ஆற்றல் மட்டத்திலேயே இயங்குகின்றன. இதனால், இவையும் மின்னோட்டத்தில் பங்குகொண்டு உதவுகின்றன.

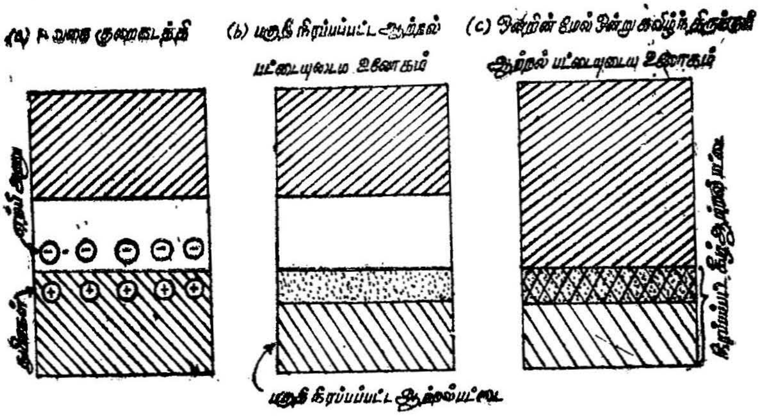
இவ்வாறு எலக்ட்ரான் அமர்ந்துள்ள கீழ் ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் அவை அமரா மேல் ஆற்றல் மட்டத்திற்கு மாற்றப்படுகின்றன. இதனால், மின்னோட்டம் தோன்றுகிறது. இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து எலக்ட்ரான்கள் விடுபட்டு அதனால் மின்னூட்டம் தோன்றுவதைத்தான் குவான்டம் இயக்கவியலில் இவ்வாறு கூறப்படுகிறது.

மின்கடத்தாப் பொருள்களில் இந்த ஆற்றல் இடைவெளி ΔE மிகுதியாக இருக்கும். ஏறத்தாழ 5 வோல்ட்டுகள் அல்லது அதற்கு அதிகமாக இருக்கலாம். இது ஒரு வலிமையான இணைதிறப் பிணைப்பிற்கு ஒப்பானது. இத்தகைய மிகுந்த ஆற்றல் இடைவெளியைக் கடக்க, (5 எலக்ட்ரான் வோல்ட்) ஓர் எலக்ட்ரானுக்கு அறை வெப்பநிலையில் வெப்ப எழுச்சியால் ஆற்றலைக் கொடுக்க முடியாது. எனவே, எலக்ட்ரான்கள், நிறைவுற்ற கீழ் ஆற்றல் பட்டைகளிலிருந்து தடுக்கப்பட்ட இடைவெளியைக் கடந்து எலக்ட்ரான்கள் அமரா மேல்பட்டைக்குச் செல்வது கிடையாது. எனவே, அறை வெப்பநிலையில் மின்கடத்தாப் பொருள்களில் மின்னோட்டமே ஏற்படுவதில்லை.

குறைகடத்திகளில் இந்த ஆற்றல் இடைவெளி ΔE ஏறத்தாழ 1 வோல்ட் இருக்கும். இது சற்று வலுக்குறைந்த இணைதிறப் பிணைப்பிற்கு ஒப்பாகும். அறை வெப்பநிலையில் இந்தக் குறைந்த ஆற்றல் (1 எலக்ட்ரான் வோல்ட்) நிறைவுற்ற ஆற்றல் பட்டையிலுள்ள எலக்ட்ரானுக்கு வெப்ப எழுச்சியால் கொடுக்கப்பட முடியும். இதைக்கொண்டு அந்த எலக்ட்ரான் ஆற்றல் இடைவெளியைத்தாண்டி எலக்ட்ரான் அமரா மேல் ஆற்றல் பட்டைக்குச் சென்றுவிடும். இவ்வாறு தாண்டிச் செல்லும்

எலக்ட்ரான்கள் மிகக் குறைவே. அதாவது, எல்லா இணைதிறப் பிணைப்புகளும் உடைவதில்லை. இதன் விளைவாக மிகக்குறைந்த மின்னோட்டம் ஏதுவாகிறது. [படம் 3.11(b)]

படம் 3.11 (c), n-வகைக் குறைகடத்தியில் ஆற்றல் மட்டங்களைக் காட்டுகின்றன. இதில் கொடை அணுக்கள் தனித்தனிப் புள்ளிகளாகக் காட்டப்பட்டுள்ளன. இவை எலக்ட்ரான் அமரா பட்டையின் கீழே உள்ளன. ஒவ்வொரு கொடை அணுவிலிருந்தும் ஓர் எலக்ட்ரானை, எலக்ட்ரான் அமராப் பட்டைக்கு மாற்றுவதற்கு மிகமிகக் குறைந்த ஆற்றலே தேவை ('01 எலக்ட்



படம் 3.12
p-வகைக் குறைகடத்தி, நற்கடத்தி உலோகங்கள் ஆகியவற்றில் ஆற்றல் மட்டங்கள்

ரான் வோல்ட் ஜெர்மேனியத்தில், 0·08 எலக்ட்ரான் வோல்ட் சிலிக்கானில்). இந்த மிகக் குறைந்த ஆற்றல் வெப்ப எழுச்சியாலேயே தரப்படும். இவ்வாறு இடமாற்றப்பட்ட எலக்ட்ரான்கள்தாம் மின்னோட்டத்தைத் தோற்றுவிக்கின்றன. அறை வெப்ப நிலையில் ஒவ்வொரு கொடை அணுவிலிருந்தும் ஓர் எலக்ட்ரானை நிறைவுறாத ஆற்றல் பட்டைக்கு மாற்றுவதற்கு எலக்ட்ரானின் வெப்ப ஆற்றலே போதுமானது. இதன் விளைவாகத் தோன்றும் மின்னூட்டம் தூய குறைகடத்தியில் பெறப்படும் மின்னோட்டத்தைவிட மிகுதியாயிருக்கும்.

படம் 3·12(a)-ல் ஒரு *p*-வகைக் குறைகடத்தியின் ஆற்றல் மட்டங்கள் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. ஏற்பி அணுக்கள் தனித்

தனிப் புள்ளிகளாகக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. இவை முழுவதும் நிரப்பப்பட்ட ஆற்றல் பட்டைக்குச் சற்று மேலேயுள்ளன. நிரப்பப்பட்ட ஆற்றல் பட்டையிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரானை ஏற்பி அணுவிற்கு மாற்ற மிகமிகக் குறைந்த ஆற்றலே தேவைப்படும். (ஜெர்மேனியத்தில் 0·01 எலக்ட்ரான் வோல்ட், சிலிக்கானில் 0·05 எலக்ட்ரான் வோல்ட்) நிரப்பப்பட்ட பட்டையில் இதனால் தோற்றுவிக்கப்படும் துளைகள் மின்கடத்தலுக்குக் காரண மாகின்றன. அறை வெப்பநிலையில் ஒவ்வோர் ஏற்பி அணுவும் நிரப்பப்பட்ட ஆற்றல் பட்டையிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரானைப் பிடித்து எடுத்துக்கொண்டு ஆற்றல் பட்டையில் ஒரு துளையைத் தோற்றுவிக்க எலக்ட்ரானின் வெப்ப ஆற்றலே போதுமானது.

இதன் விளைவாகத் தோன்றும் மின்னோட்டம் தூய குறை கடத்தியில் தோன்றும் மின்னோட்டத்தைவிட அதிகமாக இருக்கும்.

படம் 3.12(b)-ல் ஓர் உலோகத்தில் ஆற்றல் மட்டங்கள் எவ்வாறு இருக்கமுடியும் என்பது காட்டப்பட்டிருக்கிறது. ஆற்றல் மட்டங்கள் படம் 3·12(e)-ல் காட்டப்பட்டிருப்பது போலவும் இருக்கலாம். கார உலோகங்களில் (Alkali metals) எலக்ட்ரான்கள் அமைந்துள்ள ஆற்றல் பட்டை, ஒரு பகுதி நிரம்பியதாகவே இருக்கும். [படம் 3·12 (b)]. இந்தப் பட்டை யிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் தன்னியல்பு மிக்கவை. இவை உட னடியாக இயங்கி, உலோகத்தின் மிகுந்த கடத்துதிறனுக்குக் காரணமாய் இருக்கின்றன. சில உலோகங்களில் [படம் 3·12(c)-ல் காட்டியபடி] முழுவதும் நிரப்பப்பட்ட பட்டையும் நிரப்பப் படாத பட்டையும் ஒன்றின்மேல் ஒன்று மேற்சென்று கவிந் திருக்கும். இதனால், முழுவதும் நிரப்பப்பட்ட பட்டையி லிருந்து நிரப்பப்படாத பட்டைக்கு மிக எளிதாக எந்தவித ஆற்றலும் கொடுக்கப்படாமலே எலக்ட்ரான்கள் தாமே சென்று விட முடியும். இவை தன்னியல்பாக இயங்கி மிகுந்த கடத்து திறனைத் தோற்றுவிக்கின்றன.

இவ்வாறு மின்கடத்தாப் பொருள் தூய குறைகடத்தி, n-வகை, p-வகைக் குறைகடத்திகள், கடத்துதிறன் மிக்க உலோ கங்கள் ஆகியவற்றில் மின்கடத்தல் எவ்வாறு நடைபெறுகின்றன என்பன குவான்டம் இயக்கவியல் அடிப்படையில் விளக்கப் படுகின்றன.

வினாக்கள்

1. தூய்மையான குறைகடத்திகளில் மின்னூட்டத்தைக் கடத்தும் எலக்ட்ரான்களை எவ்வாறு தோற்றுவிக்கலாம்? மின் துளைகள் எவ்வாறு தோன்றுகின்றன?

2. குறைகடத்திப் படிகத்தில் எலக்ட்ரான்களும், துளைகளும் எவ்வாறு மின்கடத்திகளாகச் செயல்படுகின்றன என்பதை விளக்கி எழுது.

3. கீழ்க்கண்டவற்றை விளக்குக.

   a) ஊர்திகள் ஒன்றுதல்

   b) ஊர்திகளின் வாழ்வு நேரம்

   c) இணைதிற எலக்ட்ரான்கள்

4. கொடை அணு பெற்ற குறைகடத்தி அல்லது n-வகைக் குறைகடத்திபற்றி விளக்கி எழுது. இது எவ்வாறு தோற்றுவிக்சப்படுகிறது. இதற்குப் பயன்படும் வேதியியல் தூசு அணுக்கள் யாவை?

5. ஏற்பி வகை அல்லது p-வகைக் குறைகடத்தி எவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்படுகிறது? விளக்கி எழுது. இதற்குப் பயன்படும் வேதியியல் தூசு அணுக்கள் யாவை?

6. குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான்களும், துளைகளும் மின்கடத்தும் ஊர்திகளாகச் செயல்படுகின்றன. தூய குறைகடத்தி, தூசு கலக்கப்பட்ட குறைகடத்தி ஆகியவற்றின் மின்கடத்து திறன்களைக் கணக்கிடுக,

7. ஒரு குறைகடத்தியின் நகர்வு மின்னோட்டத்திற்கான கோவையையும், மின்தடை எண்ணுக்கான கோவையையும் தருவி.

8. ஒரு குறைகடத்திப் படிகம் வெளி மின்புலம் ஒன்றில் வைக்கப் படும் பொழுது அதில் எலக்ட்ரான்களும், துளைகளும் எவ்வாறு செயல்படுகின்றன என்பதைப் படத்துடன் விளக்கி எழுது.

9. குவான்டம் இயக்கவியலின் அடிப்படையில் உலோகம், மின் கடத்தாப் பொருள், குறைகடத்தி ஆகியவற்றின் கடத்து திறன்கள் எவ்வாறு விளக்கப்படுகின்றன.

10. ஓர் அணிக்கோவையில் இரு அணுக்களிடையே உள்ள தொலைவை எவ்வாறு தீர்மானிப்பாய்?

11. ஒரு படிகத்தில் ஒரு ஜெர்மேனிய அணு 5 இணைதிற எலக்ட்ரான்கள் கொண்ட மற்றொரு தூசு அணுவினால் எவ்வாறு பதிலீடு செய்யப்படுகிறது? தூசு அணுவில் உள்ள மிகுதி எலக்ட்ரானை அயனியாக்கத் தேவைப்படும் ஆற்றலை எலக்ட்ரான் வோல்ட்டில் கணக்கிடு. ஜெர்மேனியத்தில் மின் கடத்தாப் பொருளின் மாறிலி 16ஐயும் மிகுதி எலக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதை ஆரத்தையும் கணக்கிடு.

12. சிறு குறிப்பு வரைக :

a) கொடை அணுக்கள்

b) ஏற்பி அணுக்கள்

c) மின் துளைகள்

d) வாழ்வு நேரம்

e) ஆற்றல் பட்டைகள்

f) ஊடுருவல் மின்னோட்டம்

g) நகர்வு மின்னோட்டம்

13. 100 கிராம் ஜெர்மேனியமும், 3.22×10^{-6} ஆன்டிமொனியும் ஒன்றாக உருக்கப்படுகின்றன. ஆன்டிமொனி சீராகப் பங்கீடுப் பெற்று இருந்தால் அதன் அணுவின் அடர்த்தி 8.7×10^{14} (ஒரு க. செ. மீ) எனக் காட்டு (ஜெர்மேனியத்தின் அடர்த்தி 5.46 கிராம் / செ.மீ^{3}; அணு எடை 72.60 ஆன்டிமொனி-யின் அணு எடை 121.76).

14. மேலே கண்ட கணக்கில் ஆன்டிமொனி அணுக்களிலுள்ள மிகுதி எலக்ட்ரான்கள் அறை வெப்பநிலையில் கிளர்ச்சியுற்று இருக்கும். அவற்றின் நகர்வு திறன் 3600 /செ.மீ^{2}/ வோல்ட் / செகண்டு என்றால் கலப்பு அடைந்த குறை கடத்தியின் கடத்துதிறன் 50 மோ/மீட்டர் எனக் காட்டு.

15 இந்தக் கணக்கில் ஆன்டிமொனிக்குப் பதிலாக அணு எடை 69.72 கொண்ட 0.78×10^{-6} கிராம் காலியம் கலக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். காலியம் அணுக்களின் அடர்த்தி 3.68×10^{-14}/செ.மீ^{3} எனக் காட்டு. $\mu_p = 1700$ செ.மீ^{2}/ வோல்ட் விநாடி என்றால் அதன் கடத்துதிறன் 0·1 மோ/ செ.மீ எனக் காட்டு.

16. மேலே கண்ட எடுத்துக்காட்டில் காலியம், ஆன்டிமொனி ஆகிய இரண்டுமே 100 கிராம் ஜெர்மேனியத்தில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இப்போது கடத்துதிறன் 0·6 மோ/செ.மீ ஆக இருக்காது. ஆனால், 0.29 மோ/செ.மீ ஆக இருக்கும். இந்தக் கலப்பு n வகையா அல்லது p வகையா?

17. ஒரு கலப்புடைய குறைகடத்தியின்மீது ஒரு சீரான ஒளித் தெறிப்பு விழுகிறது. மொத்தமாக 1.74×10^{13} ஃபோட்டான்கள் உட்கவரப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு ஃபோட்டானும் எலக்ட்ரான் துளைஇரட்டையைத் தோற்றுவித்தால் மின்தடை 162 ஓமாகக் குறைந்துவிடும் எனக்காட்டு.

18. இரண்டாம் கணக்கில் கூறப்பட்டுள்ள கலப்புப்பொருளில் 10 வோல்ட் மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படுமானால் 180 மீட்டர்/விநாடி வேகத்தில் பாயும் ஓர் எலக்ட்ரான் பொருளின் நீளத்தைக் கடக்க 1.11×10^{-4} விநாடி ஆகும் என்று காட்டு.

19. கீழ்க்காணும் அட்டவணையில் ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான், கார்பன் ஆகிய தனிமங்களைப்பற்றிய சில குறிப்புகள் உள்ளன.

	ஜெர்மேனியம்	சிலிக்கான்	கார்பன்
எலக்ட்ரானின் எண்ணிக்கை	32	14	6
பட்டை இடைவெளி	0.7 ev	1.1 ev	7 ev

இந்தக் குறிப்புகளிலிருந்து இணைதிற எலக்ட்ரான்கள் எவ்வளவு வலிமையுடன் அணுவில் இணைக்கப்பட்டுள்ளன என்பதைப் பொறுத்து, பட்டை இடைவெளியானது அமையும் என்ற கூற்றை மெய்ப்பிக்க.

20. அறை வெப்பநிலையில் ஒரு சிலிக்கான் படிவத்தில் Nc, Nv ஆகியவற்றைக் கண்டுபிடி. சிலிக்கானின் கடத்துப் பட்டையில் 6 கீழ்நிலைகள் உள்ளன. இவற்றில் $m_v =$ O,97 m_0 எனவும், $m_0 =$ O,19 m_0 எனவும் கொண்டு இந்த ஆறுநிலைகளும் இரண்டு கடத்துப் பட்டைகளாக மாறலாம் எனக் காண்பி.

21. சிலிக்கானில் ஆற்றல் இடைவெளியானது O°Kல் 1·153 எலக்ட்ரான் வோல்ட்டாகவும் 300°Kல் 1·106 எலக்ட்ரான்

வோல்ட்டாகவும் உள்ளன. இந்த மாற்றம் நேரியல் (linear) ஆக இருப்பதாகக் கொண்டு தூய சிலிக்கானில் ஊர்தி களின் எண்ணிக்கையை வெப்பநிலைச் சார்பாகக் கண்டுபிடி.

22. ஒரு தூய ஜெர்மானியப் படிகத்தில் க. செ. மீட்டருக்கு 10^{16} கொடை அணுக்கள் உள்ளன. இதன் கடத்துதிறன் 2.7 ஓம்/செ.மீ ஆகும். இதே அளவு கடத்துதிறனுடைய *p*-வகைக் குறைகடத்தியில் மின்துளைகளின் அடர்த்தியைக் கணக்கிடு.

4. குறைகடத்தியின் ஆற்றல் பட்டைக் கோட்பாடு

அறிமுகம்

ஒரு குறைகடத்தியின் அடிப்படைத் தத்துவங்களும், அவை உருவாக்கப்படும் முறைகளும் முந்தையத் தலைப்புக்களில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. இந்தத் தலைப்பில் குறைகடத்திகளின் பண்புகளை விளக்கமாக அறியலாம். ஒரு குறைகடத்திக் கருவி யின் பண்புகளை அறிய அது எவ்வாறு செயல்படுகிறது என்பதை முதலில் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும்.

குறைகடத்தி செயல்படும்முறை பொதுவாகப் பார்க்கும் போது ஒரு வெற்றிட வால்வு செயல்படுவதைப்போல் இருக்கும். ஆனால், கூர்ந்துநோக்கப்பட்டால் இதன் செயல்முறை எளிமை யானதாகத் தோன்றாது. இதற்கு மூன்று காரணங்கள் உள்ளன.

1. இதில் எலக்ட்ரான்கள், துளைகள் என்ற இருவகை மின்னேற்ற ஊர்திகள் உள்ளன. வெற்றிட வால்விலோ எலக்ட்ரான்கள் மட்டுமே ஊர்தியாக உள்ளன.

2. ஊர்திகள் வெற்றிடத்தில் அல்லாமல் திடப்பொருள் களின்ஊடே நகர்ந்துசெல்லுகின்றன. வெற்றிட வால்வுகளில் எலக்ட்ரான்கள் வெற்றிடத்தில் நகர்கின்றன.

3. குறைந்த அதிர்வெண்களில் கடக்குங்காலத்தின் விளைவு குறிப்பிடத்தக்கதாக அமைந்துவிடும்.

இவற்றால் குறைகடத்திக் கருவியின் குணங்களை ஒட்டு மொத்தமாகக் குறிக்கும் இணைமாற்றுச் சுற்றுகள் (Equivalent circuits) வெற்றிட வால்வுக் குழல்களுக்குரிய இணைமாற்றுச் சுற்றுகளைவிடச் சிக்கலானதாக இருக்கும் (Complicated). இவற்றின் மாறிலிகளைத் துல்லியமாகக் குறிப்பிடமுடியாது.

இருந்தாலும் நடைமுறையில் எளிதான ஆனால், அதே நேரத்தில் தேவையான அளவு துல்லியமாக உள்ள இணைமாற்றுச்

சுற்றுகளைப் பயன்படுத்த வேண்டியது அவசியமாகிறது. எனவே தான், பல்வேறு தோராயங்கள் கைக்கொள்ளப்படுகின்றன.

அடுத்துவரும் பகுதிகளில் குறைகடத்திகளின் பௌதீகக் கொள்கைகளையும் (Physical Theory), தோராயங்களையும் விரிவாகக் காண்போம். இதனால் ஓர், எளிய A.C இணைமாற்றுச் சுற்றைப் பெறமுடியும். இது பயனுள்ள அதிர்வெண் நெடுக்கத்தில் சந்தி டிரான்சிஸ்டருக்கு எவ்வாறு பயன்படுத்தப்படுகிறது என்பதையும் காணலாம்.

குறைகடத்தியின் பௌதிகக் குணங்களை அறிய அவற்றில் எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் எவ்வாறு இயங்குகின்றன என்பதைக் குவான்டம் இயக்கவியலின் அடிப்படையில் முதலில் தெரிந்து கொள்வது தலையாய தேவையாகும்.

இதற்கு முந்தைய தலைப்புகளில் எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் எவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன, எவ்வாறு திடப் பொருளினூடே இயங்குகின்றன, என்பவை எளியமுறையில் விளக்கப்பட்டன. இதுவே, இங்கு மிக விரிவாக அறிந்து கொள்ளுமாறு விளக்கப்படுகிறது. இதை விளக்க முற்படும் போது கீழ்க்கண்டவற்றைக் கருத்திற் கொள்ளவேண்டும்.

(அ) ஒரு தனித்த அணுக்கருவுடன் பிணைந்துள்ள எலக்ட்ரான்களின் தனித்தனியான ஆற்றல் மட்டங்கள் (Discrete energy levels).

(ஆ) இந்த ஆற்றல் மட்டக் கருத்தின் அடிப்படையில் ஒரு முழுமையுற்ற படிகத்தின் குணங்களைக் காணுதல் (இங்குத் தனித் தனி ஆற்றல் மட்டங்கள், ஆற்றல் பட்டைகளாக விரிவடையும்).

(இ) ஆற்றல் பட்டைகளின் அடிப்படையில் மின்கடத்தாப் பொருள், மின்கடத்திகள், குறைகடத்திகள் ஆகியவற்றில் எலக்ட்ரான் இயங்குமுறையை விளக்குதல்.

(ஈ) படிகத்தில் எலக்ட்ரான், துளை ஆகியவற்றின் இயக்கம்.

(உ) இறுதியாக n-வகை, p-வகைக் குறைகடத்திகளை இதன் அடிப்படையில் வரையறுத்துக்கூறல் - வேதியியல் பிணைப்புக் கொள்கையின் அடிப்படையில் இதற்குமுன் கண்டவிளக்கம் போதுமானதாக இல்லாததால் ஆற்றல் மட்டத்தின் அடிப்படையில் இந்தப் புதிய விளக்கம் தேவையாகிறது.

ஆற்றல் மட்டங்கள்

அணு அமைப்பின் கொள்கைப்படி ஓர் அணுவின் நடுவில் அணுக்கரு ஒன்று உள்ளது. இதைச் சுற்றி ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையுள்ள எலக்ட்ரான்கள் சுற்றுப்பாதையில் சுழன்று கொண்டிருக்கின்றன. ஒவ்வோர் அணுவும் மின்னூட்டம் அற்றதாக இருக்கிறது. எனவே, அணுக்கருவின் மொத்த நேர்மின்னூட்டங்கள், சுற்றியிருக்கும் எலக்ட்ரான்களின் மொத்த எதிர்மின்னூட்டத்திற்குச் சமமாய் இருக்கவேண்டும். இந்த எலக்ட்ரான்கள் நிலையாயிருந்தால் இவை அணுக்கருவுக்குள் விழுந்துவிடும். எனவே, அவை அணுக்கருவைச் சுற்றிக்கொண்டிருக்க வேண்டும். சுற்றும் எலக்ட்ரான்கள் ஆற்றலை வெளிவிட வேண்டும். இப்படிச் செய்கின்ற எலக்ட்ரான்கள் ஆற்றலைப் படிப்படியாக இழந்து இறுதியாக அணுக்கருவுக்குள் விழுந்துவிடும்.

இது ஒரு நிலையான அமைப்பு ஆகாது. இந்த இடர்ப்பாட்டை நீக்கச் சில தற்கோள்கள் கைக்கொள்ளப்பட்டன. அணுக்கருவைச் சுற்றிச் சில தனித்தனியான சுற்றுப்பாதைகள் உள்ளன. இவற்றில் சுற்றிவரும் எலக்ட்ரான்கள் ஆற்றலை வெளிவிடாதவை. இதன் கருத்து என்னவென்றால், தனித்தனியான சில ஆற்றல் மதிப்புகள் இருக்கின்றன. இவற்றிலுள்ள எலக்ட்ரான் இந்த ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும். இவை ஆற்றலை வெளிவிடுவதில்லை. இந்தச் சுற்றுப் பாதைகள் நிலையானவை. சுற்றும் எலக்ட்ரானின் மையம் விட்டோடும் விசை, அணுக்கருவின் நேர்மின்னூட்டத்திற்கும் எலக்ட்ரானின் எதிர் மின்னூட்டத்திற்கும் இடையேயுள்ள ஈர்ப்புவிசையால் சரியீடுச் செய்யப்படும். எலக்ட்ரானின் மொத்த ஆற்றல் அதன் இயக்க ஆற்றல், மின்நிலையாற்றல் ஆகிய இரண்டின் கூட்டுத்தொகையாகும்.

இந்த நிலையான ஆற்றல் மட்டங்களைப் போர், சோமர்ஃபெல் போன்றோர் முயன்று கணக்கிட்டனர். இதன்படி, ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானின் நிலையையும் வரையறுத்துக்கூற நான்கு குவான்டம் எண்கள் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளன. இந் நான்கில் முதல் மூன்றும் சுற்றுப்பாதையின் நிலையையும், வடிவ அமைப்பையும் தீர்மானிக்கின்றன. நான்காவது குவான்டம் எண் எலக்ட்ரானின் தற்சுழற்சியைத் தீர்மானிக்கிறது. சுற்றிவரும் எலக்ட்ரான் ஒவ்வொன்றும் நேர் சுழற்சியோ அல்லது எதிர் சுழற்சியோ கொண்டிருக்கும்.

இந்த அணு அமைப்புக் கொள்கையில் பல தற்கோள்கள் கைக் கொள்ளப்பட்டிருக்கின்றன. சோடிங்கரும் (Schrodinger) ஹைசன் பெர்க்கும் (Heisenberg) மிகவும் அடிப்படையான சில தற்

கோள்களைமட்டும் கைக்கொண்டு ஒரு புது அணு அமைப்புக் கொள்கையைத் தரமுயன்றனர். ஓர் எலக்ட்ரானின் இயக்கத்தை ஓர் அலைச்சார்புகொண்ட அலைச் சமன்பாட்டால் விளக்கிக்கூறலாம் என்று சோடிங்கர் எடுத்துச்சொன்னார். இந்தச் சோடிங்கரின் அலைக்கொள்கையில் குவான்டம் எண்கள் தனித்த தற்கோள்களாக இருக்கவில்லை. இவை, அலைச்சார்பை விவரிக்கும் அளவுகளாக இருக்கின்றன. இதன்படி, ஒரு குவான்டம் நிலை நான்கு குவான்டம் எண்களால் முழுவதும் வரையறுத்துக் கூறப்படும். முதல் மூன்று குவான்டம் எண்களும் அலைச்சார்பை விவரிக்க, நான்காவது தற்சுழற்சியைத் தீர்மானிக்கும்.

ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரானின் ஆற்றலைச் சோடிங்கரின் அலைச்சமன்பாட்டுமுறையில் கணக்கிடலாம். இதற்காக, இயக்கத்திலிருக்கும் ஓர் எலக்ட்ரான் ஓர் அலைபோல் செயல்படுகின்றது என்ற டி-பிராக்ளி அலைக்கொள்கையை அடிப்படையாகக் கொள்ளவேண்டும். எலக்ட்ரானின் ஆற்றலைக் கணக்கிடுமுன் சோடிங்கரின் புகழ்மிக்க சமன்பாட்டை முதலில் தருவித்துக் கொள்வோம். அதன்பின் அதனைக்கொண்டு எலக்ட்ரானின் ஆற்றலைக் கணக்கிடலாம்.

சோடிங்கரின் அலைச் சமன்பாடு

ஒரு தனித்த எலக்ட்ரானுக்கு ஓர் அலை நீளம் உண்டு என்பது டி-பிராக்ளியின் கொள்கை. இதன்படி இயக்கத்தில் இருக்கும் தனி எலக்ட்ரானை ஓர் அலைச் சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம் என்பது தெளிவாக்கப்பட்டது.

λ-அலை நீளமும், γ-அதிர்வெண்ணும் கொண்ட ஓர் அலை x-திசையில் நகருவதாகக் கொள்வோம். இதன் இடப்பெயர்ச்சி ϕ என்று கொண்டால், அலைச் சமன்பாட்டைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\phi = A \sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \gamma t \right)$$

இதே முறையில் ஒரு நிலையான அலையைக் கீழ்க்காணுமாறு எழுத முடியும்.

$$\phi = A \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \cos 2\pi \gamma t$$

ஓர் அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரானின் இயக்கத்தை நிலையான அலைகளைக்கொண்டுதான் தெளிவாக விளக்கமுடியும். தனித் தனியான தொடர்ச்சியற்ற மட்டங்களில் முடிவிலாத் தொலைவிற்கு ஓடும் அலையைப்பற்றி நாம் எண்ணவேண்டியதில்லை. ஏனெனில் p-ஓர் எலக்ட்ரானுனது ஒரு நிலையான அலையைப்போலத்தான் இயங்குகிறது என்பதை மெய்ப்பிக்க முடியும். எனவே,

$\phi = A \, Sin \frac{2\pi x}{\lambda} Cos \; 2\pi \gamma t$ - என்ற சமன்பாடுதான் நமக்கு முக்கியமானது. இதில் இடத்தைக் குறிக்கும் $Sin \frac{2\pi x}{\lambda}$ என்ற பகுதியையும், நேரத்தைக் குறிக்கும் $Cos \; 2\pi \gamma t$ என்ற பகுதியையும் தனித்தனியாகப் பார்ப்போம். இடத்தைக் குறிக்கும் பகுதியை மட்டும் எடுத்துக்கொண்டால்,

$$\phi = A \, Sin \frac{2\pi x}{\lambda}$$

அல்லது இதையே,

$$\phi = A \, Cos \frac{2\pi x}{\lambda}$$

என்றும் எழுதலாம். இவற்றை ஒன்ருக்கிப் பொதுவாக எழுதினுல்,

$$\phi = A \, Cos \left[\frac{2\pi x}{\lambda} + \delta \right]$$

δ-என்பது இங்கு கட்டத்தைக் (phase) குறிக்கிறது. இதனையே, கற்பனை எண்ணைக்கொண்டு எழுதினுல்,

$$\phi = A \, Cos \left[\frac{2\pi x}{\lambda} + i \, sin \frac{2\pi x}{\lambda} \right]$$

என ஆகும்.

$$\phi = A e^{2\pi i x / \lambda}$$

இதை வகைப்படுத்தினுல்,

$$\frac{d\phi}{dx} = \frac{2\pi i}{\lambda} A e^{2\pi i x / \lambda}$$

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = \frac{2\pi i}{\lambda} \frac{2\pi i}{\lambda} A e^{2\pi i x/\lambda}$$

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = -\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \psi$$

$$\boxed{\frac{d^2\psi}{dx^2} + \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \psi = 0}$$

இது அலையைக் குறிக்கும் வகைக்கெழு சமன்பாடு ஆகும். இந்த அலைச் சமன்பாடுதான் அலைக் கொள்கைக்கும் (Wave Theory), அலை எந்திரவியலுக்கும் (Wave mechanics) அடிப்படையானது.

இப்போது துகளாக எண்ணப்படும் ஓர் எலக்ட்ரானை இந்தச் சமன்பாட்டுடன் தொடர்புபடுத்துவோம்.

m-நிறையுடைய ஓர் எலக்ட்ரான் v-வேகத்துடன் செல்வதாகக் கொண்டால், டி-பிராக்ளி கொள்கைப்படி,

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

எலக்ட்ரானின் ஆற்றல்

$$E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} m. \left[\frac{h}{m\lambda}\right]^2$$

இதிலிருந்து, $\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 = \frac{8\pi^2 mE}{h^2}$ எனக் காட்டலாம்.

எனவே, அலைச் சமன்பாடு,

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{8\pi^2 mE}{h^2}\psi = 0$$ என ஆகி விடும்.

இந்த அலைச் சமன்பாடு m-நிறையுடைய E-ஆற்றல் பெற்றுள்ள துகளைக் குறிக்கிறது.

இந்தச் சமன்பாடு இடைவெளியில் (Space) தனித்து இயங்கிக் கொண்டிருக்கின்ற எலக்ட்ரான்களை மட்டும்தான் குறிக்கும்.

வெளி விசைக்கு (external force) உட்பட்டுள்ள எலக்ட்ரான்களை இந்த அலைச் சமன்பாடு குறிக்கமுடியாது. எடுத்துக்காட்டாக ஒரு மின்புலத்தில் ஓடும் எலக்ட்ரான் விலக்கமும், முடுக்கமும் பெற்றுவிடும். இதன் விளைவாக அலைச் சமன்பாடும் அதற்கேற்றாற்போல் மாறுபட்டுவிட வேண்டும். எனவே, இந்த வெளி விசையையும் கணக்கில் எடுத்துக்கொண்டு மிகப் பொதுவான ஓர் அலைச் சமன்பாட்டைத் தருவிக்கமுடியும்.

நாம் ஒரு மின்னழுத்தத்தை எடுத்துக்கொண்டு அது பொருந்தக்கூடிய ஓர் பொதுச் சமன்பாட்டைத் தருவிக்க முயல்வோம். தனித்து இயங்கக்கூடிய ஓர் எலக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் T-எனவும், நிலை ஆற்றல் V-எனவும் கொண்டால் அதன் மொத்த ஆற்றல்,

$E = T + V$ ஆகும். எலக்ட்ரான் வெளிவிசைப்புலத்தில் இயங்கவில்லையென்றால் $V = O$ என்று ஆகிவிடும். எலக்ட்ரானின் ஆற்றல் E இப்போது அதன் இயக்க ஆற்றலை மட்டுமே குறிக்கும்.

$V = O$ ஆக இல்லாதிருக்கும்போது இயக்க ஆற்றல் $T = E - V$ என்றாகும். இந்த மதிப்பிற்குத்தான் ஒரு தனித்த எலக்ட்ரானின் ஆற்றல் மட்டங்கள் மாறுபடாமல் ஒரே அளவாக இருக்கும். அலைச்சார்பு ϕ-ம் மாறாதிருக்கும். எனவே, ஒரு மின்னழுத்தப்புலத்தில் ஓர் எலக்ட்ரான் இயங்கும்போது அதன் ஆற்றல் என்பது எலக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றலை மட்டுமே குறிக்கிறது எனக் கொள்ளவேண்டும். இதனால் பொது அலைச் சமன்பாட்டை,

$$\frac{d^2\phi}{dx^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2}\left[E - V\right]\phi = O.$$

என்று எழுதலாம். இந்தச் சமன்பாட்டை முப்பரிமாணத்தில் எழுதலாம்.

$$\left[\frac{d^2\phi}{dx^2} + \frac{d^2\phi}{dy^2} + \frac{d^2\phi}{dz^2}\right] + \frac{8\pi^2 m}{h^2}\left(E - V\right)\phi = O.$$

$$\left[\frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}\right]\phi + \frac{8\pi^2 m}{h^2}\left(E - V\right)\phi = O$$

$$\Delta^2\psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2}\left[E - V\right]\psi = 0 \qquad 4.1$$

இதுதான் புகழ்வாய்ந்த 'சோடிங்கர் அலைச் சமன்பாடு' ஆகும்.

இந்த அலைச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி ஓர் எலக்ட்ரானைத் தன்னகத்தே கொண்டுள்ள ஒரு ஹைட்ரஜன் அணுவின் கீழ்மட்ட நிலை (Ground state) ஆற்றல்களைக் கணக்கிடுவோம்.

ஹைடிரஜன் அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரானின் கீழ்மட்ட (Ground state) ஆற்றல் :

ஹைட்ரஜன் அணுவிலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் — e ஆகும். இது நடுவில் அணுக்கருவிலுள்ள ஒரு புரோட்டானைச்சுற்றி r-தொலைவில் வட்டப்பாதையில் ஓடிக் கொண்டிருக்கிறது. புரோட்டானின் மின்னூட்டம் + e ஆகும்.

இந்த இரு மின்னூட்டங்களிடையே நிலவும் மின்னழுத்தம் $V = -\frac{e^2}{r}$ ஆகும். இதைச் சோடிங்கரின் அலைச் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்ய,

$$\Delta^2\psi + \frac{8\pi^2 m}{h^2}\left[E + \frac{e^2}{r}\right]\psi = 0.$$

எனக் கிடைக்கும். இதற்குத் தீர்வுகாணமுற்பட்டால் அது மிகக் கடினமாக இருக்கும். அதனால், இந்தச் சமன்பாட்டைத் துருவக்கோட்டு ஆயங்களுக்கு (Polar coordinates) மாற்றி-விட்டால் தீர்வு காண்பது எளிதாகும். இங்குள்ள மின்னழுத்தம் $\frac{e^2}{r}$ கோள சமச்சீர் (Spherically symmetrical) உடையது.

எனவே, ψ-ன் தீர்வும் கோளச் சமச்சீருடைய தீர்வுகளைக் கொண்டிருக்க வேண்டும். அதாவது ψ ஆனது r-ன் மதிப்பை மட்டும் பொருத்து அமையும்.

$$r = \sqrt{x^2 + y^3 + z^2}$$

$$\frac{\partial r}{\partial x} = \frac{1}{2}\cdot\frac{2x}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} = \frac{x}{r}$$

ϕ-என்பது rஐ மட்டும் பொருத்து அமைவதால்,

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial \phi}{\partial r}\frac{\partial r}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{x}{r}\frac{\partial \phi}{\partial r}$$

மீண்டும் வகைப்படுத்தினல்,

$$\frac{\partial^3 \phi}{\partial x^2} = \frac{1}{r}\frac{\partial \phi}{\partial r} - \frac{x^2}{r^3}\frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{x^2}{r^2}\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2}$$

இதேபோன்று, $\frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2}, \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2}$ ஆகியவற்றிற்கும் கோவைகளைப் பெறலாம். இவற்றைக்கொண்டு $\Delta^2\phi$ஐக் கணக்கிட்டால்,

$$\Delta^2\phi = \frac{3}{r}\frac{\partial \phi}{\partial r} - \frac{1}{r}\frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2}$$

$$= \frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2}\ \frac{2}{r}\frac{\partial \phi}{\partial r}$$

இதை அலைச் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial^2 r} + \frac{2}{r}\frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{8\pi^2 m}{h}\left(E + \frac{e^2}{r}\right)\phi = O$$

இந்தச் சமன்பாட்டுக்கான எளிய தீர்வு

$$\phi(r) = e^{-\alpha r}$$

α-என்பது ஒரு மாறிலி

$$\frac{\partial \phi}{\partial r} = -\alpha.\ e^{-\alpha r}$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} = +\alpha^2.\ e^{-\alpha r}$$

$$\therefore \alpha^2 e^{-\alpha r} + \frac{2}{r}\left(-\alpha e^{-\alpha r}\right) + \frac{8\pi^2 m}{h^2}\left(E + \frac{e^2}{r}\right)e^{-\alpha r} = 0$$

$$\alpha^2 - \frac{2}{r}\alpha + \frac{8\pi^2 mE}{h^2}\left(E + \frac{e^2}{r}\right) = 0$$

இந்தச் சமன்பாடு r-ன் எல்லா மதிப்புகளுக்கும் பொருந்துமாதலால்,

$$\frac{8\pi^2 m}{h^2} + \alpha^2 = 0$$

$$= \frac{4\pi^2 me^2}{h^2}$$

இந்த இரண்டிலிருந்தும் E-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டால்,

$$\frac{8\pi^2 mE}{h^2} + \frac{16\pi^4 m^2 e^4}{h^4} = 0$$

$$E = \frac{16\pi^4 m^2 e^4}{h^4} \quad \frac{h^2}{8\pi^2 m}$$

$$E = \frac{2\pi^2 m\, e^4}{h^2}$$

இதை MKS அலகுகளில் எழுதினால் மின்னழுத்தம்

$$V = -\frac{e^2}{4\pi E_0 r}$$ என வரும்.

ஆகவே, $$E = \frac{me^4}{8h^2 E_0^2}$$ என ஆகும்.

இதேபோன்று இரண்டாவது மூன்றாவது குவாண்டம் நிலைகளிலுள்ள எலக்ட்ரானின் ஆற்றலைக் கணக்கிடலாம். பொதுவாக n-வது குவாண்டம் நிலையிலுள்ள [முதன்மைக் குவாண்டம் எண் = n] எலக்ட்ரானின் ஆற்றல்,

$$E = \frac{me^4}{8h^2 E_0^2} \quad \frac{1}{n^2}$$

இங்கு,

E-என்பது எலக்ட்ரானின் ஆற்றல் ஆகும்.

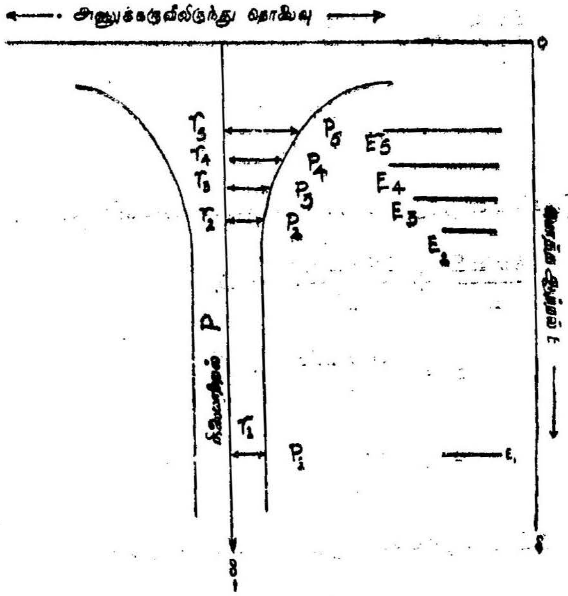
m-என்பது எலக்ட்ரானின் நிறை $9 \cdot 1 \times 10^{-31}$ கிலோ கிராம்.

h-பிளாங்க் மாறிலி $6 \cdot 62 \times 10^{-34}$ ஜூல்-விநாடி.

E_0-என்பது வெற்றிடத்தின் உட்புகுதிறன்

n-1, 2, 3, 4, 5, ...

n-என்பது முழு எண் மதிப்புகளாகத்தான் இருக்கும்.



படம் 4.1

ஓர் அணுவில் உள்ள நிலை ஆற்றல் மட்டங்கள்

சமன்பாடு 4-2-ஐ e-ஆல் வகுக்க, இந்த ஆற்றல் E எலக்ட்ரான் வோல்ட்டில் கிடைக்கும். *m*, *e*, *h*-ஆகியவற்றின் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்தால்,

$$E = -\frac{13.6}{n^2} \text{ எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆகும் ...} \qquad 4 \cdot 3.$$

படம் 4.1 எலக்ட்ரானின் ஆரத்தொலைவுக்கும் அதன் நிலையாற்றல், மொத்த ஆற்றல் ஆகியவற்றிற்கும் உள்ள தொடர்பைக் காட்டுகிறது.

ஹைடிரஜன் அணுவில் ஏரே ஓர் எலக்ட்ரான் இருப்பதால் அது இயல்பாகக் கீழ் ஆற்றல் மட்டம் E_1-ல்தான் இருக்கும். மற்ற ஆற்றல் மட்டங்கள் E_2, E_3....ஆகியவை காலியாயிருக்கும்.

E_1 ஆற்றல் மட்டத்திலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரானை கிளர்ச்சியுறு மாறு செய்து (excited) மேல் ஆற்றல் மட்டம் E_2-க்கு அதை மாற்றலாம். இவ்வாறு செய்யக் கூடுதல் (E_2 ஆற்றல் E_1) ஐ எலக்ட்ரானுக்குக் கொடுக்கவேண்டும். இப்படி மேல்மட்டத் திற்குச் சென்ற எலக்ட்ரான் அங்கேயே, கிளர்ச்சியுற்றநிலையில் தொடர்ந்து இருந்துவிடாது. அது உடனே கீழ் ஆற்றல் மட்டத் திற்குத் தாவிவிடும். அப்படிக் கீழ் மட்டத்திற்கு வரும்போது அதன் கூடுதல் ஆற்றல் $(E_2 - E_1)$ கதிர்வீச்சாக வெளிப்படும். இந்தக் கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண் γ - எனக்கொண்டால்,

$$E = E_2 - E_1 = h\gamma \quad \ldots\ldots 4.4.$$

இவ்வாறு வெளிவிடப்பட்ட ஆற்றலின் அதிர்வெண் γ-ஐ நிறமாலைகாட்டி அளவீடுகளிலிருந்து கணக்கிடலாம். இந்த ஆற்றல் மட்டங்கள் ஒரு குறைகடத்தியில் சிறுபான்மை ஊர்திகள் தோற்றுவிக்கப்பட்டுப் பிறகு ஒன்றாய்விடும் நிகழ்ச்சிக்கு ஒப்பான தாகக் கொள்ளலாம். இந்த ஒப்பீடு மிகவும் சரியாக இல்லா விட்டாலும் ஒரு தடுக்கப்படாத ஆற்றல் பட்டையிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரான் உயர் மட்டத்திலுள்ள மற்றொரு தடுக்கப்படாத ஆற்றல் பட்டைக்குத் தாவும்போது ஓர் எலக்ட்ரான் - துளை இரட்டை தோற்றுவிக்கப்படுகிறது என்று காட்டலாம்.

இரு எலக்ட்ரான்கள் ஒரே குவான்டம் நிலையில் அமர்ந்திருக்க முடியாது. இந்த அடிப்படை இயற்கை விதி 'பௌலியின் தவிர்த்தல் விதி' (Pauli's exelusion principle) எனப்படுகிறது. இது உண்மையல்ல வென்றால் எந்த ஓர் அணுவிலுமுள்ள எல்லா எலக்ட்ரான்களும் எல்லாவற்றிற்கும் கீழான ஆற்றல் மட்டத்திற்கு வந்துவிடும். பிறகு எல்லாத் தனிமங்களும் ஏறத் தாழ ஒரேமாதிரியாக இருக்கும். எனவே, பௌலியின் தவிர்த்தல் விதிப்படி ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானும் மற்றதிலிருந்து வேறுபடுத்தப்பட்ட குவான்டம் நிலையிலிருக்கிறது.

ஆற்றல் கூடுகள் (Energy shells)

அணுவோடு தொடர்புடைய பல்வேறு எலக்ட்ரான்கள் இருந்தால் தனி எலக்ட்ரானுக்குள்ள தனித்தனி ஆற்றல் நிலைகள் போலவே இவற்றிற்கும் தனித்தனி ஆற்றலுடைய குவான்டம்

நிலைகளிருக்கும். ஓர் எலக்ட்ரானின் இயக்கம் நான்கு குவான்டம் எண்களால் வரையறுத்துக் கூறப்படுகின்றது. அவையாவன:- n, l, m_l & m_s

n-மொத்தக் குவான்டம் எண்

l-கோண உந்த குவான்டம் எண்

m_l-எலக்ட்ரான் சுற்றுப்பாதையின் வடிவ அமைப்பைக் குறிக்கும் குவான்டம் எண்

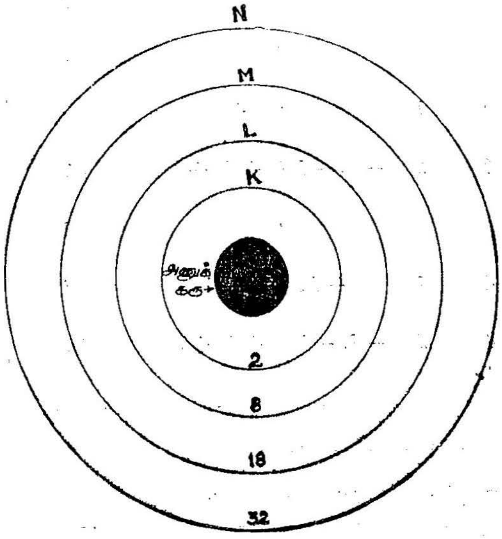
m_s-எலக்ட்ரானின் தற்சுழற்சியின் உந்தத்தைக் குறிக்கும் குவான்டம் எண்

n, l, m_l-ஆகிய குவான்டம் எண்கள் முழுஎண் மதிப்புகளையே பெற்றிருக்கும். l-குவான்டம் எண் O-விலிருந்து $(n-l)$ வரை எல்லாமதிப்புக்களையும் பெற்றிருக்கும். சுற்றுப்பாதைக் குவான்டம் எண் m_l, $(2l+1)$ வெவ்வேறு மதிப்புகளைக் கொண்டிருக்கும். எந்த ஓர் எலக்ட்ரானும் தற்சுழற்சியின் இரு மதிப்புகளைத்தான் கொண்டிருக்கமுடியும். ஆகவே, m_s-ன் மதிப்பு $+\frac{1}{2}$ ஆகவோ அல்லது $-\frac{1}{2}$ ஆகவோதான் இருக்கமுடியும்.

ஒவ்வொரு குவான்டம் நிலையுடனும் தொடர்புடைய ஆற்றல் முக்கியமாக n-ன் மதிப்பையும் ஓரளவுக்கு l-ன் மதிப்பையும் பொருத்திருக்கும். n-ம் l-ம் அதிகரித்தால் ஆற்றலும் அதிகரிக்கும். ஒவ்வோர் ஆற்றல் மட்டத்திலும் குவான்டம் நிலைகள் m_l, m_s-ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைப் பொருத்திருக்கும்.

பொதுவாக, எலக்ட்ரான் சுற்றுப்பாதை நீள்வட்டமானது. இதனால், ஓர் எலக்ட்ரானின் ஆற்றல் n-மதிப்போடு சிக்கலான சார்புடையதாய் இருக்கும். சமன்பாடு 4·2-ல் கொடுக்கப்பட்டது போல் எளிதாக இருக்காது. இது பல்வேறு காரணங்களால் ஏற்படுகிறது. முக்கியமாகச் சமன்பாடு 4·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ள நிலையாற்றலால் ஏற்படுகிறது. இந்த மதிப்பைத்தான் சோடிங்கர் சமன்பாட்டில் பயன்படுத்தியிருக்கிறோம். உண்மையில் நிலையாற்றல் மதிப்பு இந்தச் சமன்பாடு 4·1-ல் காட்டப்பட்டிருப்பதைவிடக் குறைவாகவே இருக்கும். ஏனெனில், உள் சுற்றுப்பாதையிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எதிர் மின்னூட்டம் அணுக்கருவின் நேர்மின்னூட்டத்தின் ஒரு பகுதியை இடையிட்டுத் தடுத்துவிடுகிறது. பல எலக்ட்ரான்களையுடைய அணுக்களின் குவான்டம் நிலைகள் அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. $n=l$ ஆக இருக்கும்

போது ஆற்றல்நிலை சிறுமமாக இருக்கும். எனவே, $l=O$, $m_1=O$. $m_s=+\frac{1}{2}$ ஆகவோ $-\frac{1}{2}$ ஆகவோ இருக்கலாம். எனவே, இந்த ஆற்றல் நிலையில் இரண்டு ஆற்றல் மட்டங்கள் இருக்கமுடியும். ஒவ்வோர் ஆற்றல் மட்டத்திலும் இரண்டு எலக்ட்ரான்கள் இருக்கலாம். அதாவது இந்த ஆற்றல் நிலையில் $(+\frac{1}{2})$ தற்சுழற்சிக் குவான்டம் எண்ணுடன் ஓர் எலக்ட்ரானும் $(-\frac{1}{2})$ தற்சுழற்சிக் குவான்டம் எண்ணுடன் மற்றோர் எலக்ட்ரானும் இருக்கின்றன. $n=1$, $l=O$ உடைய ஓர் எலக்ட்ரான் *1s*-எலக்ட்ரான் என்று



படம் 4.2
ஓர் அணுவில் கூடுகள்

பெயரிடப்படுகிறது. இவ்வாறே *2s*, *3p*, *4d* என்று வெவ்வேறு ஆற்றல் நிலைகளில் உள்ள எலக்ட்ரான்கள் பெயரிடப்பட்டுள்ளன. $l=1$ எனில் *p*-எலக்ட்ரான், $l=2$ எனில் *d*-எலக்ட்ரான், $l=3$ எனில் *f*—எலக்ட்ரான் எனப்படுகிறது.

எனவே, ஓர் ஆற்றல் நிலையில் பல்வேறு ஆற்றல் மட்டங்கள் இருப்பதைக் காண்கிறோம். இந்த ஆற்றல் மட்டங்களை ஆற்றல் கூடுகள் என்றும் சொல்லலாம். இவை படத்தில் காண்பிக்கப் பட்டுள்ளன.

அட்டவணை

ஆற்றல் நிலை	n	l	m_l	குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கை	உள்கூட்டின் பெயர்
E_1	1	0	0	2	1s
E_2	2	0	0	2	2s
E_3	2	1	−1, 0, +1	6	2p
E_4	3	0	0	2	3s
E_5	3	1	−1, 0, +1	6	3p
E_6	3	2	−2, −1, 0, +1, +2	10	3d
E_7	4	0	0	2	4s
E_8	4	1	−1, 0, +1	6	4p
E_9	4	2	−2, −1, 0, +1, +2	10	4d

அணுக்களில் எலக்ட்ரான்களின் அமைப்பு

ஓர் அணுவில் கருவைச் சுற்றி ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட எலக்ட்ரான்கள் இருக்கும்போது அவை படிப்படியாகக் கீழ் ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து நிரம்பத் தொடங்குகிறது. முதலில் 1s-ஆற்றல் மட்டத்தில் எலக்ட்ரான்கள் நிரம்பும். இதில் $(+\frac{1}{2})$ $(-\frac{1}{2})$ தற்சுழற்சியோடு இரண்டு எலக்ட்ரான்கள் நிரப்பப்படும். மூன்றாவது எலக்ட்ரான் 2s- ஆற்றல் மட்டத்திற்குச் சென்றுவிடும். இதிலும் இரண்டு எலக்ட்ரான்கள்தாம் நிரம்பமுடியும். இவ்வாறு அடுத்தடுத்து 2p 3s போன்ற மட்டங்களில் எலக்ட்ரான்கள் ஆற்றல் மட்டங்களின் ஏறுவரிசையில் நிரம்பிக்கொண்டே செல்லும்.

பௌலியின் தவிர்த்தல் விதிப்படி எந்த ஓர் குவான்டம் நிலையிலும் ஒரே ஓர் எலக்ட்ரான்தான் இருக்கமுடியும். இரண்டு எலக்ட்ரான்கள் இருக்கமுடியாது. எல்லா எலக்ட்ரான்களும் இயற்கையாகவே, குறைந்த ஆற்றல் நிலைக்கு - அணுக்கருவுக்கு அருகிலுள்ள முதல் ஆற்றல் நிலையான 1s-ஆற்றல் மட்டத்திற்கு

வருவதற்கு முற்படும். இது தவிர்த்தல் விதியின்படி இருக்க முடியாது. எனவே, எலக்ட்ரான்கள் பல்வேறு ஆற்றல் மட்டங்களில் நிரம்பிவிடுகின்றன. ஒவ்வோர் ஆற்றல் மட்டத்திலும் நிரம்பக்கூடிய எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை அட்டவணையிலிருந்து (பக்கம் 94) காணலாம். தனிம அட்டவணையில் பல்வேறு தனிமங்களின் அணுக்களில் உள்ள எலக்ட்ரான்கள் எவ்வாறு வெவ்வேறு ஆற்றல் மட்டங்களில் நிரப்பப்படுகின்றன என்பதை மற்ருெரு அட்டவணையில் காணலாம். [பக்கம் 96]

கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள அட்டவணையில் ஒரு சில தனிமங்கள், எலக்ட்ரான்களின் அமைப்புக் கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. இவற்றில் அரிய வாயுக்களான (rare gases) ஹீலியம், நியான், ஆர்கான் போன்றவற்றின் குவான்டம் நிலைகள் எல்லாம் எலக்ட்ரான்களால் நிரப்பப்பட்டிருப்பதைக் காணலாம். இவற்றில் மேல் ஆற்றல் மட்டத்தில் எந்த ஆற்றல் கூடும் காலியாக இல்லை. இதனுல் இவற்றிற்கு 'இணைதிற எலக்ட்ரான்கள்' எனச் சொல்லப்படும் வெளி எலக்ட்ரான்கள் எதுவும் கிடையாது. எனவேதான், இந்த வாயுக்கள் மற்ற பொருள்களோடு வேதியியல் பிணைப்புக் கொள்வதில்லை. இந்த வாயுக்கள் மந்த வாயுக்கள்—வேதியியல் செயற்களற்ற வாயுக்கள் என்று கூறப்படுகின்றன. அட்டவணையிலிருந்து நாம் பயன்படுத்தும் குறைகடத்திப் பொருள்களான சிலிகான், ஜெர்மேனியம் ஆகியவற்றிற்கும் கார்பனுக்கும் மேல் ஆற்றல் மட்டத்தில் நான்கு குவான்டம் நிலைகள் நிரப்பப்படாமலிருப்பதைக் காணலாம். எனவேதான், இந்தத் தனிமங்களின் இணைதிறம் நான்கு என்று சொல்லப்படுகிறது. இந்த நான்கு எலக்ட்ரான்கள்தாம் அடுத்துள்ள அணுக்களிலிருந்து பெறப்பட்டு இணைதிறப் பிணைப்புத் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது.

குவான்டம் நிலைகளும் ஆற்றல் பட்டைகளும்

அணு அமைப்புக் கூடுகளில் எலக்ட்ரான்கள், நிரப்பப்படும் முறை ஆகியவற்றைக் கண்டோம். இது ஒரு தனித்த அணுவுக்கான விளக்கம். ஆனுல், அணுக்கள் தனித்தனியாக இருப்பதில்லை. திடப்பொருள்களில் அணுக்கள் மிகமிக நெருக்கமாய் அமைந்துள்ளன. எனவே, இவ்வாறு நெருக்கமாயுள்ள அணுக்களிடையே செயல் எதிர்ச்செயல் இருக்கும். இதனுல், இவற்றின் தனித்தனி ஆற்றல் மட்டங்களின் மாற்றங்கள் தோன்றுகின்றன. ஏனெனில், ஓர் அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான் அடுத்துள்ள அணுவின் எலக்ட்ரானின் மின்புலத்தால் இயக்கவிளைவு அடைகிறது. இதன் விளைவாக ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானுக்குமுள்ள தனித்தனி ஆற்றல் மட்டங்கள் பல்வேறு ஆற்றல் மட்டங்களாக விரிவடைகின்றன.

அட்டவணை

சில தனிமங்களில் எலக்ட்ரான்களின் அமைப்பு

தனிமங்கள்	அணு எண்	எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை							
		1s	2s	2p	3s	3p	4s	3d	4p
		2	2	6	2	6	2	10	6
ஹைட்ரஜன்	1	1							
ஹீலியம்	2	2							
லித்தியம்	3	2	1						
பெரிலியம்	4	2	2						
போரான்	5	2	2	1					
கார்பன்	6	2	2	2					
நைட்ரஜன்	7	2	2	3					
ஆக்ஸிஜன்	8	2	2	4					
ஃபுளோரின்	9	2	2	5					
நியான்	10	2	2	6					
சோடியம்	11	2	2	6	1				
அலுமினியம்	13	2	2	6	2	1			
சிலிக்கான்	14	2	2	6	2	2			
பாஸ்பரஸ்	15	2	2	6	2	3			
ஜெர்மேனியம்	32	2	2	6	2	6	2	10	2
ஆர்சனிக்	33	2	2	6	2	6	2	10	3

அட்டவணை

குறைகடத்தியாகச் செயல்படும் தனிமங்கள்

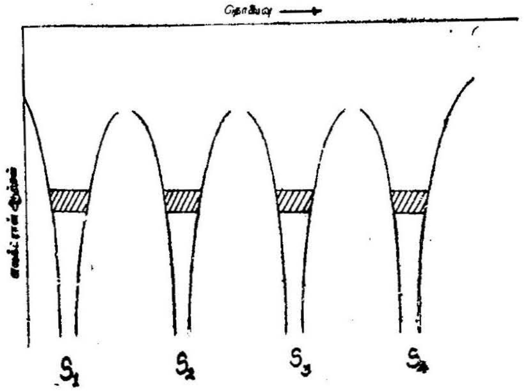
மட்டங்களின் எண்ணிக்கை	வெளிக்கூட்டில் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை		
	3	4	5
2	போரான் (5)	கார்பன் (6)	நைட்ரஜன் (7)
3	அலுமினியம் (13)	சிலிக்கான் (14)	பாசுபரஸ் (15)
4	கேலியம் (31)	ஜெர்மேனியம் (32)	ஆர்செனிக் (33)
5	இண்டியம்	டின்	ஆன்டிமொனி

இவற்றின் எண்ணிக்கை, இயக்கவிளைவில் பங்குகொள்ளும் அணுக்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்திருக்கும்.

முதலில் நாம் N அணுக்களை எடுத்துக்கொள்வோம். இவை ஒரு படிகத்தில் இருப்பதுபோல் ஒழுங்காக இடம் விட்டுவிட்டு வரிசையாக அடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இவற்றின் இடையேயுள்ள தொலைவுகள் சமமாகவும் அணுக்களிடையே செயல் எதிர்ச்செயல் தோன்றாத அளவுக்குத் தள்ளித் தள்ளியும் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இப்போது இவற்றின் ஆற்றல் மட்டங்கள் தனித் தனியாக இருக்கும். இது படம் 4.3ல் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. S_1, S_2, S_3 என்பவை அணுக்கள் அமைந்துள்ள இடங்கள். இவற்றிடையே செயல் எதிர்ச்செயல் இல்லை.

அடுத்து இரு அணுக்களைமட்டும் எடுத்துக்கொள்வோம். இவையிரண்டும் ஒன்றுக்கொன்று எதிர்ச்செயல் புரியும் வண்ணம் நெருக்கமாக அமைந்துள்ளன. இப்போது ஒவ்வோர் அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்களும் மற்ற எலக்ட்ரானால் இயக்கவிளைவு மாறுபாட்டுக்கு உட்படுத்தப்படும். இதன்விளைவாக எலக்ட்ரானின் தனித்த நிலையாற்றல் சிறிது குறைகிறது. (எலக்ட்ரான் அலைச் சார்புகள் ஒன்றுடன் ஒன்று குறுக்கிடுகின்றன). எலக்ட்ரான்கள் இரு அணுக்களுக்கிடையே உள்ள இடத்திற்கு வரும்போது இவை முன்னும் பின்னும் நகர்ந்து சிறிதுநேரம் இந்த இடைவெளியில் தங்கிவிடும். இந்தநிலையில் சோடிங்கரின் சமன்பாட்டுக்குத் தீர்வுகாணப்பட்டால், சிறிதே மாறுபட்ட இரு தீர்வுகள்

கிடைக்கும். இவை இரு ஆற்றல் மட்டங்களைக் குறிக்கின்றன. எனவே, இரு அணுக்களின் எலக்ட்ரான்கள் செயல் எதிர்ச் செயலில் பங்குகொள்ளும்போது அவற்றின் தனித்தனி ஆற்றல் மட்டங்கள் இரு கூறுகளாகப் பிளவுபடுகின்றன. இதனைப் படம் 4.4 காட்டுகிறது. இவ்வாறுதான் அணுவின் ஆற்றல் மட்டங்கள்,



படம் 4.3
தனித்தனியாக உள்ள அணுக்களில் உள்ள எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் மட்டங்கள்

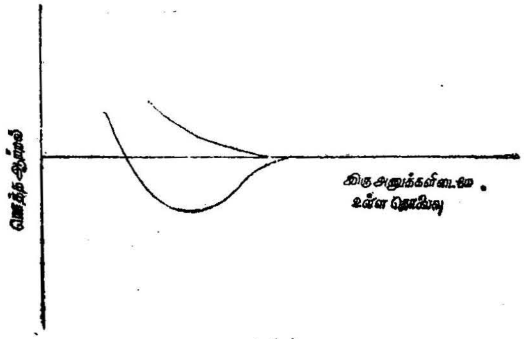
படிகத்தில் பல்வேறு ஆற்றல் மட்டங்கள் நிறைந்த பட்டையாக, சுருங்கச் சொன்னால் ஆற்றல் பட்டையாகப் பரவிவிடுகிறது.

திடப்பொருளில் (படிகத்தில்) ஆற்றல் பட்டைகள் தோன்றுதல்

ஒரு திடப்பொருளில் (படிகத்தில்) இருக்கும் பல்வேறு அணுக்களை எடுத்துக்கொள்வோம். இவை அடுத்தடுத்து அமைந்துள்ளன. எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு வைரம் படிகத்தில் ஆறு எண்ணிக்கை கார்பன் அணுக்கள் அடுத்தடுத்து உள்ளன. ஒவ்வோர் அணுவிற்கும் *1s*, *2s*, *2p* ஆகிய மூன்று ஆற்றல் மட்டங்கள் உள்ளன. இந்த அணுக்கள் அருகருகே நெருங்கி வர வர ஒவ்வோர் ஆற்றல் மட்டமும் ஆறு தனித்தனி ஆற்றல் மட்டங்களாகப் பிளவு பட்டுப் பரவிவிடுகிறது. *1s*, *2s* ஆற்றல் மட்டங்கள் பிளவுபட்டுப் பரவியிருப்பதைப் படம் 4.5(a) காட்டுகிறது.

ஒரு படிகத்தில் பல அணுக்கள் அடுத்தடுத்து உள்ளன. இவ்வணுக்களில் உள்ள எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் நிலைகள் அல்லது நிலை ஆற்றல் படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

1s, *2s*, *2p* ஆகிய ஆற்றல் மட்டங்கள் தனித்தனியே இருப்பதையும் *3p*, *3s* மட்டங்கள் ஒன்றோடொன்று சேர்ந்திருப்பதையும் படம் 4·5 (b) காட்டுகிறது. *1s* ஆற்றல் மட்டத்தைவிட *2s* ஆற்றல் மட்டம் மிகுதியாகப் பிளவுற்றுப் பரவியிருப்பது படத்திலிருந்து தெரிகிறது. அணுக்கள் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு அருகருகே இருக்குமோ அதற்கு ஏற்றவாறு *2s* மட்டமும், அதை அடுத்து *1s* மட்டமும் பிளவுற்று விரிகின்றன. ஆறு கார்பன் அணுக்கள் ஒன்றோடொன்று இயக்கவிளைவில் பங்குகொண்டிருப்பதால் ஒவ்



படம் 4.4

1-s ஆற்றல் மட்டம் பிளவுறுதல்

வோர் ஆற்றல் மட்டமும் ஆறு தனித்தனிப் பிரிவுகளாகப் பிளவுறுகின்றன.

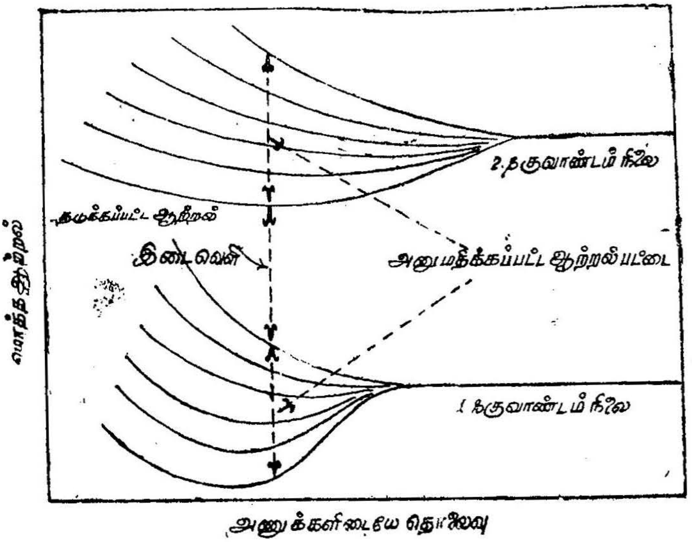
இவ்வாறு பிளவுபட்டாலும் குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கை மாறுபடா. ஆறு கார்பன் அணுக்களுக்கும் தனித்தனியே *1s*-மட்டத்தில் $6 \times 2 = 12$ குவான்டம் நிலைகள் இருக்கும் ($+\frac{1}{2}$-க்கு ஒன்று, $-\frac{1}{2}$-க்கு ஒன்று). பிளவுற்றவுடன் ஒவ்வொரு *1s* மட்டமும் ஆறு மட்டங்களாகப் பிரிந்துவிடுகின்றன. ஒவ்வொன்றிலும் இரு எலக்ட்ரான்கள் இருக்கமுடியும். எனவே, இந்தக் குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கை பன்னிரெண்டு ஆகிறது. இதே போன்று *2s* ஆற்றல் மட்டம் பிளவுறுவதையும் விளக்கலாம்.

ஒரு படிகத்தில் இருப்பதுபோல் பலநூறு அணுக்கள் நெருக்கமாக உள்ளபோது இவ்வாறு ஒவ்வோர் ஆற்றல் மட்டமும் பிளவுற்றிருப்பதைத் தனித்தனியாகப் பிரிக்கமுடியாது. ஏனெனில், ஒவ்வோர் ஆற்றல் மட்டமும் அணுக்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமான எண்ணிக்கையுள்ள பலநூறு பிரிவுகளாகப் பிளவுறும்.

இவை ஒன்றோடொன்று மேற்பொருந்தி, ஆற்றல் மட்டங்களாக இல்லாமல் ஆற்றல் பட்டையாகத் தெரிகிறது.

ஆற்றல் பட்டையைப் பற்றி, கீழ்க்கண்ட இரு குறிப்புகள் குறிப்பிடத்தக்கவை.

(i) ஓர் அணு ஆற்றல் மட்டத்திலிருந்து தோன்றும் ஆற்றல் பட்டையின் அகலம், படிகத்திலுள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையைப் பொருத்திருக்காது.

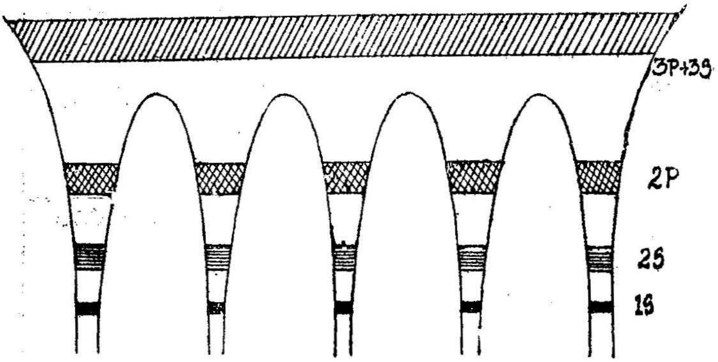


படம் 4.5(a)
அணுக்களிடையே தொலைவு குறையும்போது ஆற்றல் மட்டங்களின் பிளவு

(ii) ஓர் ஆற்றல் பட்டையிலுள்ள குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கை, அந்தப் பட்டையைத் தோற்றுவித்த ஆற்றல் மட்டங்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமமாகவே இருக்கும்.

இவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்படும் ஆற்றல் பட்டைகளிடையே குவான்டம் நிலைகளிருக்க முடியாது. இதனால்தான், கீழ்ப்பட்டையின் மேல்வரம்பிலிருந்து அடுத்த பட்டையின் கீழ்வரம்புவரையிலுள்ள இடம் 'தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் பட்டை' (forbidden energy band) அல்லது 'ஆற்றல் இடைவெளி' (Energy gap) எனப்படும்.

குவான்டம் நிலைகளைக்கொண்டுள்ள ஆற்றல் பட்டைகள் 'அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் பட்டைகள்' (allowed energy band) எனப்படும். குழப்பத்தைத் தடுப்பதற்காக அவை பொதுவாகவே 'ஆற்றல் பட்டைகள்' எனப்படும். கார்பன் படிகத்தில் இணைதிற எலக்ட்ரான்கள் அமர்ந்திருக்கும் குவான்டம் நிலைகளிலிருந்துதாம் முக்கியமான ஆற்றல் பட்டைகள் தோன்றுகின்றன. இவை 2*s*, 2*p* நிலைகள் என்று கூறப்படுகின்றன. இவற்றில் ஒவ்வோர் அணுவுக்கும் மொத்தம் எட்டு குவான்டம் நிலைகள் இருக்கும்.



படம் 4.5(b)

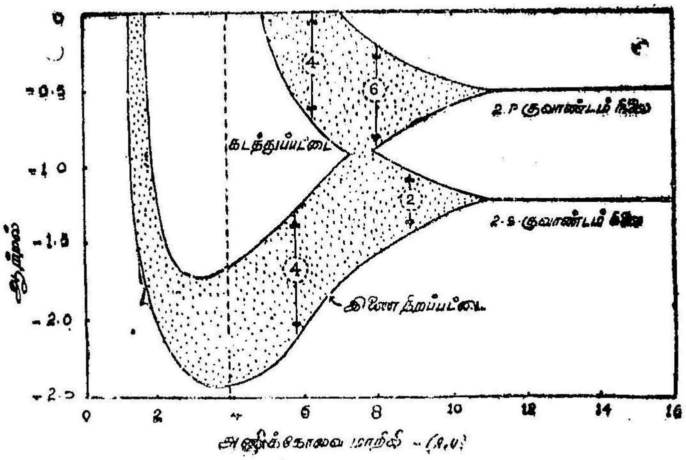
ஒரு படிகத்தில் ஆற்றல் பட்டைகளும் நிலை ஆற்றலும்

எனவே, இவை தனித்த அணுக்களில் பாதி நிரம்பியிருக்கும். ஒவ்வோர் அணுவிலும் 1*s* நிலையில் இரு எலக்ட்ரான்கள் இருக்கும். இந்த எலக்ட்ரான்கள் அணுக்கருவுடன் மிக நெருக்கமாக முழுவதும் பிணைக்கப்பட்டிருக்கும்படி அலைச்சார்பைப் பெற்றிருக்கின்றன. எனவே, அடுத்துள்ள அணுக்களிடையே மேற்பொருந்தல் (overlapping) அல்லது செயல் எதிர்ச்செயல் ஏற்படும்படி அமையவில்லை எனக் கொள்ளலாம். இவை படிகத்தில் இருப்பதால் எவ்வாறும் பாதிக்கப்படுவதில்லை என்றும் கொள்ளலாம்.

வைரத்தின் படிக அமைப்பிலுள்ள கார்பன் அணுக்களின் ஆற்றல் பட்டை படம் 4.6-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. அணிக்கோவை மாறிலிகள் மிகுதியாய் இருக்கும்போது - படிகத்தில் அணுக்கள் தள்ளித்தள்ளி இருக்கும்போது—கீழ் ஆற்றல் பட்டை முழுவதும் நிரம்பிவிடுகிறது. மேல் பட்டைகளில் ஒருபகுதிதான் நிரம்புகிறது. அணுக்களிடையே தொலைவு குறையும்போது—குறைந்த அணிக்கோவை மாறிலிகளில்—ஓர் அணுவுக்கான எட்டு

குவாண்டம் நிலைகளும் இரு பட்டைகளிடையே சமமாகப் பிளவுறுகின்றன. எனவே, கீழ்ப்பட்டை முழுவதும் நிரம்பிவிடுகிறது.

இந்தக் கீழ்ப்பட்டைதான் இணைதிறப் பிணைப்பிலுள்ள எலக்ட்ரான்களுக்கு நேரானது. ஓர் எலக்ட்ரானைக் கிளர்ச்சியுறச்செய்து மேல்பட்டையிலுள்ள குவான்டம் நிலைக்கு உயர்த்துவதற்கு ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. படிக அமைப்பில் கீழ்ப்பட்டையிலுள்ள எலக்ட்ரானின் சராசரி ஆற்றல் ஒரு தனி அணுவுக்கான



படம் 4.6
வைரப் படிகத்தின் ஆற்றல் மட்டம்

2s ஆற்றலைவிடக் குறைவாக இருக்கும். இந்த ஆற்றல் குறைவுதான் படிகத்தின் 'கட்டு ஆற்றல்' (Binding energy) என்று கூறப்படுகிறது.

ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையுள்ள தனித்த கார்பன் அணுக்களின் மொத்த ஆற்றலைவிட, அதே அணுக்கள் படிகத்தில் வரிசையாக அடுக்கப்படும்போது அவற்றின் மொத்த ஆற்றல் குறைவாக இருக்கும். இந்த ஆற்றல் இழப்புதான் படிகத்தின் கட்டு ஆற்றலாக மாறி அதை மிகுந்த நிலையுள்ளதாகச் செய்கிறது. ஒரு படிகத்தை உடைத்து அதனுள்ளிருக்கும் அணுக்களைத் தனித்தனியாகப் பிரிப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றலைத்தான் படிகத்தின் கட்டு ஆற்றல் என்கிறோம். வைரத்தைப்போன்ற இணைதிறப் பிணைப்பால் அமைந்த படிகமொன்றில் ஆற்றல் பட்டை முறையில் கணக்கிடப்பட்ட தோராயங்கள் எலக்ட்ரான் இரட்டைப்

பிணைப்புமுறையில் கணக்கிடப்பட்டதைவிடத் துல்லியமாக இருக்காது. இக் கூட்டு ஆற்றலைப் பொருத்தமட்டில் துல்லிய மாகவே இருப்பதில்லை. இருந்தாலும், படிகங்களில் மின்கடத் தலைப்பற்றி மட்டுமே மிக விளக்கமாக அறிந்துகொள்வதற்கு இந்தக் குவான்டம் இயக்கவியல் கோட்பாடுகள் நமக்கு மிகவும் பயன்படுகின்றன.

ஆற்றல் பட்டைகளில் குவான்டம் நிலைகளின் பங்கீடு

ஒரு படிகத்திலுள்ள குவான்டம் நிலைகள் பலவற்றில் எலக்ட்ரான்கள் எவ்வாறு பங்கீடு செய்யப்பட்டுள்ளனவென அறிவதற்குக் குவான்டம் நிலைகளில் ஆற்றல் எவ்வாறு பங்கிடப்பட்டுள்ளது எனத் தெரிந்துகொள்ள வேண்டும். இந்த ஆற்றல் பங்கீடு—ஓரலகு ஆற்றலுக்கான குவான்டம் நிலைகளின் அடர்த்தி—$N(E)$ என்ற சார்பால் குறிக்கப்படுகிறது. இது எலக்ட்ரான் ஆற்றல் E-ன் ஒரு தொடர்ச்சார்பு (continuous function) ஆகும். இது கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கப்படுகிறது. ஓரலகு பருமனுள்ள படிகத்தினை எடுத்துக்கொள்வோம். இதிலுள்ள மொத்தக் குவான்டம் நிலைகளும் இவற்றின் ஆற்றல்களும் கணக்கிடப் படுவதாகக் கொள்வோம். இவற்றிலிருந்து E-க்கும் $E+dE$-க்கும் இடைப்பட்ட குவான்டம் நிலைகள் எண்ணப்படுகின்றன. இதை ds எனக்கொண்டால்,

$$N(E)= \frac{dS}{dE}$$

அல்லது, $dS= N(E)\,dE$.........................

$N(E)$-ன் வரையறை :

படிகத்தின் ஓரலகு பருமனுக்கு, ஓரலகு ஆற்றலுக்கான குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கைதாம் $N(E)$ ஆகும்.

குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கை மாறுவிதிப்படி, குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கை படிகத்தின் உருவ அளவிற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். ஆனால், ஆற்றல் பட்டையின் அகலம் இந்தப் படிகத்தின் உருவ அளவைப் பொருத்திருக்காது. ஒரு படிகத்தில் ஓரலகு ஆற்றலுக்கு V-பருமனில் உள்ள குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கை $V \times N(E)$ ஆகும்.

அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் பட்டைகளின் இடையேயுள்ள ஆற்றல் இடைவெளியில்—தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் பட்டையில்

இந்த ஆற்றல் E இருந்தால் $N(E)$ன் மதிப்பு சுழியாகும். ஆற்றல் E ஓர் ஆற்றல் புட்டையின் உள்ளேயிருந்தால் $N(E)$-ன் மதிப்பைக் கீழ்க்கண்டவாறு மதிப்பிடலாம். E, $E+dE$ ஆகிய இரு மதிப்புகள் அடுத்தடுத்து அருகேயுள்ள ஆற்றல் பரப்புகளைக் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். இவ்விரண்டிற்கும் இடையேயுள்ள பருமன் dv_p. V-என்பது படிகத்தின் பருமன் ஆகையால், அனுமதிக்கப்பட்ட புள்ளியிலுள்ள பருமன் h^3/v ஆகும். இதன் ஒவ்வொரு புள்ளியும் இரண்டு குவாண்டம் நிலைகளைத்தரும். ஒவ்வொன்றும் வெவ்வேறு தற்சுழற்சி உடையது. எனவே, dE ஆற்றல் நெடுக்கத்தில் உள்ள குவாண்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கை படிகத்தின் ஓரலகுப் பருமனுக்கு.

$$ds = \frac{2dV_p/(h^3/_v)}{V}$$

$$ds = \frac{2dV_p}{h^3} \qquad 4.2$$

E-க்கும் $E+dE$க்கும் இடையேயுள்ள மொத்தக் குவாண்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கை, இவ்வாறு தரப்படும் தனித்தனிக் குவாண்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கையைக் கூட்டுவதாகும். எடுத்துக்காட்டாக, ஓர் ஆற்றல் பட்டையின் அடிப்பகுதி அருகேயுள்ள ஓரலகு ஆற்றலுக்கான குவாண்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடுவோம். எளிதாக இருப்பதற்காக மிகக் குறைந்த ஆற்றல் நடுப்புள்ளியில் இருப்பதாகக் கொண்டால்,

$$E = E_o + p^2/_{2m} \qquad 4\cdot3$$

$$dE = \frac{p}{m} \times dP \qquad 4\cdot4$$

[இங்கு p எலக்ட்ரானின் உந்தத்தையும், m அதன் நிறையையும்குறிக்கின்றன] p, $p+dp$ இடையேயுள்ள கோளக்கூட்டின் பருமன் $4\pi p^2dp$ ஆகும். எனவே, இதிலடங்கியுள்ள குவாண்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கை,

$$ds = \left(\frac{2}{h^3}\right) \cdot 4\pi p^2 dp \qquad 4\cdot5$$

இதனை ஆற்றல் கோவையாகத் திருத்தி எழுதலாம்.

$$E = E_0 + \frac{p^2}{2m}$$

$$\frac{p^2}{2m} = E - E_0$$

$$p = [2m(E - E_0)]^{\frac{1}{2}} \ldots\ldots\ldots \quad 4 \cdot 6$$

சமன்பாடு 4-லிருந்து,

$$pdp = m.dE.$$

இவற்றைச் சமன்பாடு 4·5-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$ds = \left(\frac{8\pi}{h^3}\right) p^2 dp.$$

$$= \frac{4\pi}{h^3} (2m)^{\frac{3}{2}} (E - E_0)^{\frac{1}{2}} dE$$

$$= N(E) \; dE \ldots\ldots \quad 4 \cdot 7$$

இதுதான் சமன்பாடு 4·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ள கோவையாகும்.

$$N(E) - \frac{4\pi}{h^3} (2m)^{\frac{3}{2}} (E - E_0)^{\frac{1}{2}} \ldots\ldots \quad 4 \cdot 8$$

இந்தச் சமன்பாடு படிகத்தின் ஓரலகு பருமனுக்கும் ஓரலகு ஆற்றலுக்குமுள்ள குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கையைத் தருகிறது. பெருமதிப்பான ஆற்றல் E_m-க்குக் கீழேயுள்ள மொத்தக் குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கையை இந்த N(E)dE ஐ தொகுனியாக்கிக் கணக்கிடலாம். தொகுனியாக்கல் E_o-விலிருந்து E_m வரை இருக்கவேண்டும். E_o-என்பது சிறும ஆற்றலாகும். குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கை,

$$\int_{E_o}^{E_m} N(E) \, dE$$

$$= \frac{8\pi}{3h^3} (2m)^{\frac{3}{2}} (E_m - E_o)^{\frac{3}{2}}$$

$$= 4 \cdot 5 \times 10^{21} (E_m - E_o)^{\frac{3}{2}} \ldots\ldots \quad 4 \cdot 9$$

ஆற்றல் எலக்ட்ரான் வோல்ட்டில் கொடுக்கப்பட்டால், இந்த $4 \cdot 5 \times 10^{21}$ ஒரு கன சென்டிமீட்டருக்கான எண்ணிக்கையைக் கொடுக்கும். மேலே கொடுக்கப்பட்ட வாய்பாடு உலோகங்களின் கொள்கையைப்பற்றிப் படிக்கும்போது பயன்படுத்தப்படுகிறது. உலோகங்களில் ஆற்றல் பட்டைகள் சமன்பாடு 4·8-ல் உள்ளது போல் இருக்கவேண்டும். அதாவது எல்லா குவான்டம் நிலைகளும் ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றலுக்குக் கீழே இடம்பெற்றுள்ளதாக இருக்கவேண்டும். சமன்பாடு 4·9 மிக உயரமான இடம்பெற்ற குவான்டம் நிலையைக் கணக்கிடப் பயன்படும்.

ஒரு பட்டையில் மேல்வரம்பை ஒட்டிக் குவான்டம் நிலைகளின் பங்கீட்டைக் கணக்கிட்டால் அது ஏறத்தாழ இது போலவே வரும், இங்கு,

$$E = E_0 - \frac{p^2}{2m} \text{ ஆகும்.}$$

சமன்பாடு 4·8-ல் $(E-E_0)^{\frac{1}{2}}$-க்குப் பதிலாக $(E_0-E)^{\frac{1}{2}}$ என்று பதிலீடு செய்யவேண்டும்.

E_1, E_2 வரம்புகளுக்கிடையே அமைந்துள்ள ஆற்றல் பட்டையிலுள்ள குவான்டம் நிலைகளின் மொத்த எண்ணிக்கை,

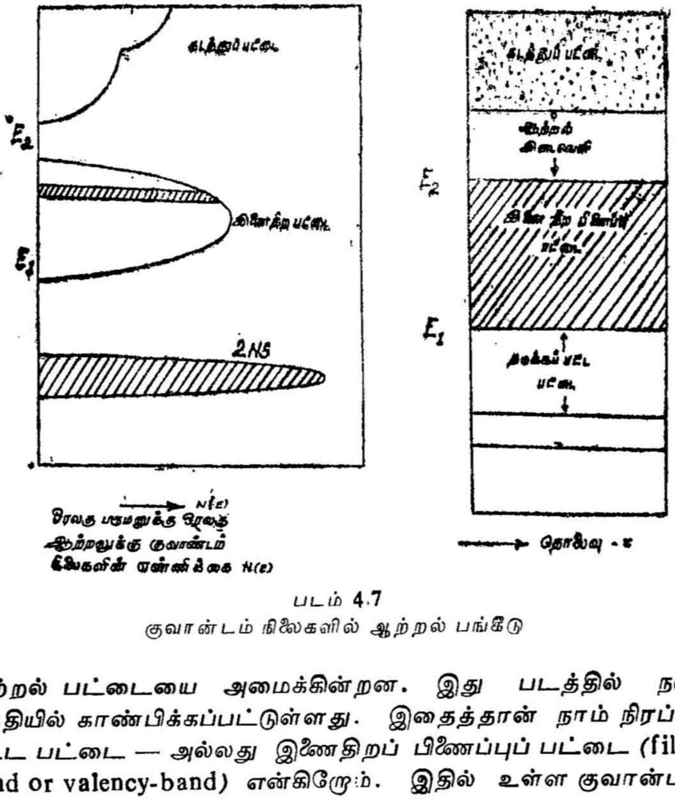
$$S = \int_{E_1}^{E_2} N(E)\, dE \text{ ஆகும்,}$$

எந்த ஓர் ஆற்றல் பட்டைக்கும் S மாறாதிருக்கும். படிகத்தில் ஒரு க.செ.மீ உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையையும், ஒரு தனித்த அணுவின் ஆற்றல் மட்டத்திலுள்ள குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கையையும் பெருக்கினால் இந்த S கிடைக்கும்.

ஓரலகு ஆற்றலுக்கான இந்தக் குவான்டம் நிலை அடர்த்தி S அனுமதிக்கப்பட்ட ஆற்றல் பட்டையின் நடுப்பகுதி அருகில் பெருமதிப்பாயிருக்கக் காணலாம். சமன்பாடு 4·8-ல் காண்பிக்கப் பட்டுள்ள குவான்டம் நிலைகளின் தன்மையை அடுத்துள்ள படம் காட்டுகிறது. இதில் வைரப் படிகத்தின் ஆற்றலில் உள்ள குவான்டம் நிலைகளின் பங்கீடு காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது.

Ns-அணுக்களைக் கொண்டுள்ள படிகத்தின் ஓரலகு பருமனை எடுத்துக்கொண்டால் அதிலுள்ள மூன்று ஆற்றல் பட்டைகள் படம் 4·7 காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன,

எல்லாவற்றிற்கும் கீழேயுள்ள பட்டை 1s-மட்டத்திற்கு நேரானது. இந்த மட்டம் இரண்டு உள் (கரு அருகில் உள்ள) எலக்ட்ரான்களால் நிரப்பப்பட்டிருக்கும். வைரப் படிகத்தில் ஓர் அலகு அறை அமைப்பில் (unit cell) இரண்டு அணுக்கள் உள்ளன. இவற்றில் உள்ள நான்கு 1s-எலக்ட்ரான்கள் நிரம்பும் பட்டைதான் கீழ்மட்டத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. மீதமிருக்கும் எட்டு இணைதிற எலக்ட்ரான்கள் (அலகு அறை அமைப்பில் இரண்டு அணுக்கள் இருப்பதால்) தாம் இந்த இணைதிறப் பிணைப்பு



படம் 4.7
குவான்டம் நிலைகளில் ஆற்றல் பங்கீடு

ஆற்றல் பட்டையை அமைக்கின்றன. இது படத்தில் நடுப் பகுதியில் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இதைத்தான் நாம் நிரப்பப் பட்ட பட்டை — அல்லது இணைதிறப் பிணைப்புப் பட்டை (filled band or valency-band) என்கிறோம். இதில் உள்ள குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கை,

$$S = \int_{E_1}^{E_2} N(E)\, dE$$ ஆகும் என்று காட்டியிருக்கிறோம்.

இந்தப் படத்தில் ஆற்றல் பட்டைகளுடன் ஒப்பிடுவதற்காக

ஆற்றல் மேல்நோக்கிக் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. தொகுக்கப்பட்ட மதிப்பு, படத்தில் கோடிட்டுக் காட்டப்பட்டுள்ளது. உள் எலக்ட்ரானின் ஆற்றல் பட்டை குறுகியதாயிருக்கிறது. இதனால், N (E) மதிப்பு மிகுதியாயிருக்கும். கடத்துப் பட்டை அல்லது நிரப்பப்படாத பட்டையில் குவான்டம் நிலைகளின் பங்கீடு தொடர்ந்து முடிவிலாது செல்வதுபோல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. உயர் அணு ஆற்றல் மட்டங்களில் (கடத்து ஆற்றல் பட்டைகளைத் தோற்றுவிப்பவை) செயல் எதிர்ச்செயல்கள் மிக வலிமையாக இருந்து, அதனால் தோன்றும் ஆற்றல் பட்டைகள் எல்லாம்முடிந்த மேல் ஆற்றல்களிலும் இடைவெளிவிடாமல் பரவியிருக்கும் என்பதைக் கருத்தில்கொண்டே, இது முடிவிலாது செல்வதுபோல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

இணைதிறப் பிணைப்புப் பட்டை, கடத்துப் பட்டையின் அடிப் பகுதி ஆகியவற்றைப் பொருத்தமட்டில் இந்தப் படம் சரியாக இருக்கலாம். இது தூய ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகியவற்றிற்கும் பொருந்தும். தூசுகள் கலக்கப்பட்ட குறைகடத்திகளுக்கு இது பொருத்தமாக மாற்றப்பட வேண்டியிருக்கும்.

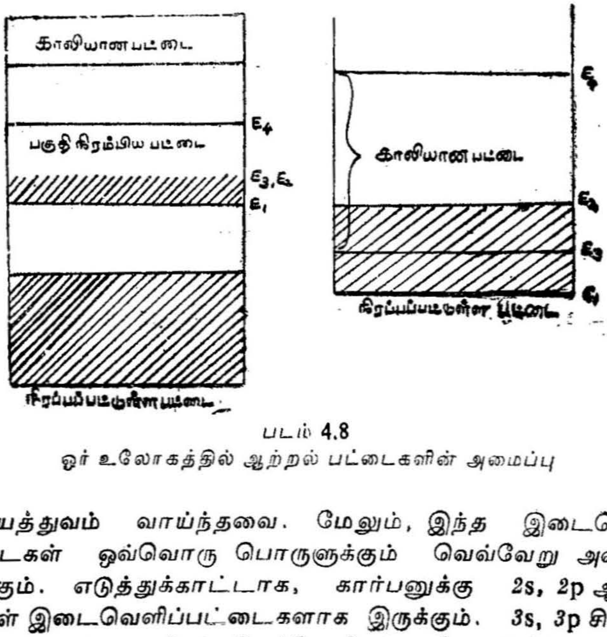
மின்கடத்தாப் பொருள், மின்கடத்தும் உலோகங்கள், குறைகடத்திகள் ஆகியவற்றிற்கான ஆற்றல் பட்டைக் கோட்பாடுகள்

ஆற்றல் பட்டைக் கோட்பாடுகளின் அடிப்படையில் உலோகத்தின் கடத்துதிறன், மின்கடத்தாப் பொருள்களின் கடத்துதிறன், குறைகடத்தியின் கடத்துதிறன் ஆகியவற்றைத் தெளிவாக விளக்கலாம்.

ஒரு திடப்பொருளில் மொத்த எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை — குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கை மாறுமலே இருக்கும். இது பௌலியின் தவிர்த்தல் விதிக்கு உட்பட்டது. எனவே, ஒரு படிகத்தில்,கீழ் ஆற்றல் பட்டைகள் நிரப்பப்பட்டதாயிருக்கும். அதாவது, எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் காலி இடங்களின் எண்ணிக்கையும் (குவான்டம் நிலைகளின் எண்ணிக்கையும்) சமமாக இருக்கும். இதற்கு மாறுக உயர்நிலை ஆற்றல் பட்டைகள் நிரப்பப்படாததாக இருக்கும். இந்த இரண்டுக்குமிடையே ஓர் இடைவெளியிருக்கும். உலோகங்களில் இந்த இடைவெளியின் ஒரு பகுதி நிரம்பிய பட்டையாக இருக்கும். மின் கடத்தாப் பொருள்களில் இந்த இடைவெளி அகன்று இருக்கும். குறைகடத்திப் பொருள்களில் இந்த இடைவெளி குறுகியதாக இருக்கும்.

N (E) என்பது ஓரலகு ஆற்றலுக்கு எலக்ட்ரான் அடர்த்தியைக் குறிக்குமானால் முழுவதும் நிரப்பப்பட்ட கீழ் ஆற்றல் பட்டைகளில் N (E)-ன் மதிப்பு பெருமமாயிருக்கும். காலியாக உள்ள உயர் ஆற்றல் பட்டைகளில் N (E) = O ஆக இருக்கும். இடையேயுள்ள பட்டைகளில் ஒரு பகுதி நிரம்பியிருப்பதால் N (E)-ன் மதிப்பும் இடைப்பட்டதாக இருக்கும். படம் 4·8-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் 1s, 2s, 2p மட்டங்கள் நிரப்பப்பட்டவை. 3s, 3p மட்டங்கள் ஒரு பகுதி நிரப்பப்பட்டவை.

ஒரு திடப்பொருளின் மின் கடத்துதிறனைப் பொறுத்த மட்டில் இந்த இடைவெளியிலுள்ள ஆற்றல் பட்டைகள்தாம்



படம் 4.8
ஓர் உலோகத்தில் ஆற்றல் பட்டைகளின் அமைப்பு

முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை. மேலும், இந்த இடைவெளிப் பட்டைகள் ஒவ்வொரு பொருளுக்கும் வெவ்வேறு அளவாக இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, கார்பனுக்கு 2s, 2p ஆற்றல் நிலைகள் இடைவெளிப்பட்டைகளாக இருக்கும். 3s, 3p சிலிக்கானுக்கும் 4s, 4p தாமிரம், ஜெர்மேனியம் ஆகியவற்றிற்கும் இடைவெளிப்பட்டையாக இருக்கும்.

உலோகங்களின் மின்கடத்துதிறன்

உலோகங்களில் எலக்ட்ரான்களைக் கொண்டுள்ள மேல்நிலைப் பட்டை ஒரு பகுதி நிரம்பியதாக இருக்கும். அல்லது முதல் காலியான நிரப்பப்படாத பட்டை, எலக்ட்ரான்களைக் கொண்டுள்ள நிரப்பப்பட்ட கடைசிப்பட்டையின்மேல் பொருந்தி இருக்கலாம்.

ஒருபகுதி நிரம்பிய பட்டையிலிருக்கும் காலியான ஆற்றல் மட்டங்கள் நிரப்பப்பட்ட ஆற்றல் மட்டங்களுக்கு வெகு அருகில் இருக்கும். எனவே, நிரப்பப்பட்ட மட்டத்திலிருந்து காலியான மட்டத்திற்கு ஓர் எலக்ட்ரானை மாற்றுவதற்கு மிகக்குறைந்த ஆற்றலே தேவைப்படும். இவ்வாறு மாற்றப்பட்ட எலக்ட்ரான் படிகத்தில் ஓர் அணுவிலிருந்து மற்றொரு அணுவிற்கு நகரக்கூடிய தன்னியல்பு கொண்டதாயிருக்கும். இதுதான் மின்கடத்தலில் பங்குகொள்ளும் எலக்ட்ரானுகும். இத்தகைய திடப்பொருள் ஒரு 'நல்ல மின்கடத்தி' எனப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாகத் தாமிரத்தைச் சொல்லலாம். இதில் $3d$, $4s$, $4p$ மட்டங்கள் ஒன்றின்மேலொன்று பொருந்தி ஒரேபட்டையாக ஆகி யிருக்கிறது.

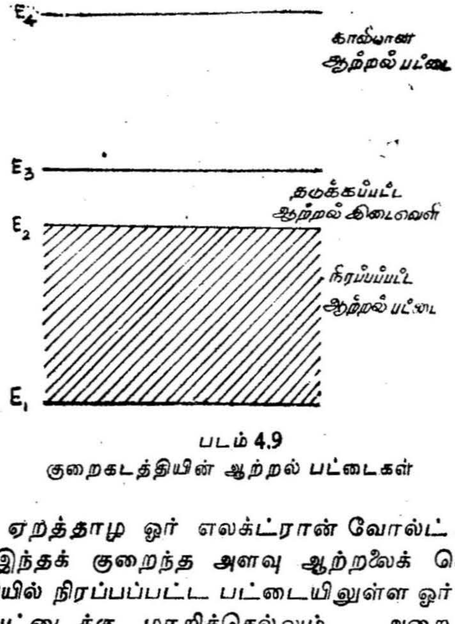
எந்த ஒரு பட்டையிலும் எலக்ட்ரான்கள் கீழ் ஆற்றல் மட்டங் களிலேயே இடம்பெறமுடியும். எனவே, பகுதி நிரம்பிய பட்டையில் ஏறத்தாழ எல்லா எலக்ட்ரான்களும் பட்டையின் அடிப்பகுதியிலேயே இடம்பெற்றிருக்கும். மேல்பகுதியில் எலக்ட்ரான்கள் இருக்கா. இந்த எலக்ட்ரான்களைப் பட்டையின் கீழ்ப்பகுதியிலிருந்து மேல்பகுதிக்கு இடம்மாற்றினுல் மொத்த ஆற்றல் உயர்ந்துவிடும்.

ஓர் உலோகப் படிகம் ஒரு மின்புலம் E-ல் வைக்கப்பட்டால் உயர் ஆற்றல் பெற்ற எலக்ட்ரான்கள் புலத்தின் எதிர்த்திசையில் முடுக்கப்பட்டு ஓடத்தொடங்கும். அவற்றின் வேகம் மிகுதியாகிக் கொண்டே போகும். அவ்வாறு ஓடும்போது இந்த எலக்ட்ரான்கள் அணு மையங்களோடு மோதிக்கொள்ளும். இந்த மோதல்களின் போது அது வேகக்குறைவை அடையலாம். மோதலுக்குப்பின் ஒரு புதிய திசையில் இவை ஓடும். ஆனுலும், இவற்றில் புலத்தின் எதிர்த்திசையில் முடுக்கம் இருந்துகொண்டே யிருக்கும். இதன் விளைவாக மின்புலத்தின் எதிர்த்திசையில் எலக்ட்ரான் மெள்ள மெள்ள நகரத் தொடங்கும். இதைத்தான் 'நகர்வு மின்னேட்டம்' (Drift current) என்கிறோம்.

மின்புலத்தின் செறிவு உயர்த்தப்பட்டால் எலக்ட்ரானின் இயக்க ஆற்றல் மிகுதியாகிறது. அதனுல் அதனுடைய மொத்த ஆற்றல் மட்டம் உயரும். எலக்ட்ரான்கள் மோதலின்போது தன்னிடமுள்ள கூடுதல் ஆற்றலை இழந்துவிடும். இது வெப்பமாக வெளிவருகிறது. இவ்வாறு பகுதிநிறைந்த ஆற்றல் பட்டை களுள்ள உலோகங்களில் மின்கடத்தல் நடைபெறுகிறது.

குறைகடத்தியின் மின்கடத்தல்

குறைகடத்திகளில் கீழேயுள்ள ஆற்றல் பட்டை முழுவதும் நிரம்பியிருக்கும். மேலேயுள்ள ஆற்றல் பட்டை முழுவதும் காலியாக இருக்கும். நிரப்பப்பட்ட ஆற்றல் பட்டையிலிருந்து அதற்கு மேலேயுள்ள காலியான ஆற்றல் பட்டைக்கு எலக்ட்ரான்கள் மாற்றப்பட்டால்தாம் இதில் மின்கடத்தல் ஏதுவாகும். இவ்வாறு எலக்ட்ரானை மாற்றுவதற்கு ஆற்றல் இடைவெளிக்குச் சமமான கூடுதல் ஆற்றல் இந்த எலக்ட்ரானுக்கு ஏதாவதொரு வழியில் கொடுக்கப்படவேண்டும். குறைகடத்திகளில் இந்த ஆற்றல்



படம் 4.9
குறைகடத்தியின் ஆற்றல் பட்டைகள்

இடைவெளி ஏறத்தாழ ஓர் எலக்ட்ரான் வோல்ட் அளவிலேயே இருக்கும். இந்தக் குறைந்த அளவு ஆற்றலைக் கொடுத்தாலே குறைகடத்தியில் நிரப்பப்பட்ட பட்டையிலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரான் காலியான பட்டைக்கு மாறிச்செல்லும். அறை வெப்பநிலையிலேயே நிரப்பப்பட்ட பட்டையிலுள்ள ஏராளமான எலக்ட்ரான்கள் ஆற்றல் இடைவெளியைக் கடப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றலை வெப்ப ஆற்றலாகப் பெற்றிருக்கின்றன.

கீழேயுள்ள நிரப்பப்பட்ட பட்டைதான் சில நேரங்களில் 'இணைதிறப் பட்டை' என்று கூறப்படுகிறது. மேலேயுள்ள காலியான பட்டையானது 'கடத்துப் பட்டை' எனப்படுகிறது.

இணைதிறப் பட்டையிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரான் கிளர்ச்சியுற்றுக் கடத்துப் பட்டைக்கு மாற்றப்படுமேயானால், இதன் விளைவாக

இணைதிறப் பட்டையில் ஒரு துளை தோன்றும். இதனுல், குறை கடத்தியில் மின்கடத்தல் என்பது கடத்துப் பட்டையிலுள்ள எலக்ட்ரான்களும் இணைதிறப் பட்டையிலுள்ள துளைகளும் சேர்ந்து தோற்றுவிப்பதேயாகும்.

கீழேயுள்ள நிரப்பப்பட்ட பட்டையை இணைதிறப் பட்டை என்று குறிப்பிடுவதால் இதற்கு நேரான ஆற்றல் மட்டத்தை E_v-எனக் குறிக்கலாம். இதேபோன்று காலியான பட்டையைக் கடத்துப் பட்டை என்று குறிப்பிடுவதால் அதன் ஆற்றல் மட்டத்தை E_c என்று குறிக்கலாம். E_v இணைதிறப் பட்டையின் மேல்வரம்பு ஆற்றல் மட்டத்தையும் E_c-கடத்துப் பட்டையின் கீழ் வரம்பு ஆற்றல் மட்டத்தையும் குறிக்கின்றன. ஆற்றல் இடை வெளியை $E_g = E_c — E_v$ என்று கொள்ளலாம். இந்த E_g-தான், ஓர் எலக்ட்ரானை இணைதிறப் பட்டையிலிருந்து கடத்துப் பட்டைக்கு மாற்றுவதற்குத் தேவைப்படும் குறைந்த ஆற்ற லாகும். சிலிக்கானுக்கு இந்த $E_g = 1 \cdot 12$ எலக்ட்ரான் வோல்ட் டாக இருக்கிறது. ஜெர்மேனியத்திற்கு $E_g = 0 \cdot 7$ எலக்ட்ரான் வோல்ட்டாக இருக்கிறது.

மின்கடத்தாப் பொருளின் கடத்துதிறன்

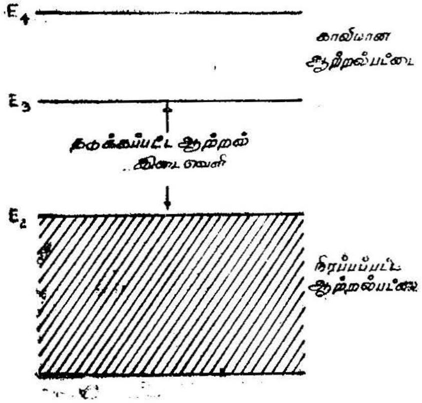
மின்கடத்தாப் பொருள்களிலும் ஆற்றல் பட்டைகளின் அமைப்பு குறைகடத்திகளுக்கு இருப்பதுபோலவே இருக்கும். இதனுல், கடத்துப் பட்டையின் கீழ்வரம்பிற்கும் இணைதிறப் பட்டையின் மேல்வரம்பிற்கும் இடையேயுள்ள ஆற்றல் இடை வெளி மிக அதிகமாக இருக்கும். இந்த ஆற்றல் இடைவெளியை $E_g = E_c — E_v$ என்று குறிக்கலாம். இந்த E_g தான் ஓர் எலக்ட்ரானை இணைதிறப் பட்டையிலிருந்து கடத்துப் பட்டைக்கு மாற்று வதற்குத் தேவையான ஆற்றல் என்று கூறப்பட்டது. மின் கடத்தாப் பொருள்களில் இந்த ஆற்றல் இடைவெளி E_g-பல எலக்ட்ரான் வோல்ட்டாக இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, வைரத் தில் E_g-ன் மதிப்பு ஏறத்தாழ 7-எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆகும்.

படிகங்களில் எலக்ட்ரானின் இயக்கம்

மின்கடத்தாப்பொருள் நற்கடத்திகள், குறைகடத்திகள் ஆகியவற்றில் கடத்துதிறனை விரிவாகத் தெரிந்துகொள்வதற்கு, அவை ஒரு மின்புலத்தில் வைக்கப்படும்போது அவற்றில் எலக்ட் ரான்களின் இயக்கம் எவ்வாறிருக்கிறது என்பதை அறிந்து கொள்வது நலம்.

ஓர் எலக்ட்ரான் மின்புலத்திலிருக்கும்போது அதன்மீது ஒரு விசை செயல்படும், இந்த விசையினுல் இந்த எலக்ட்ரான்கள்

ஒரு முடுக்கத்தைப்பெறும். இதனுல், எலக்ட்ரான்களின் வேகம் தொடர்ந்து மிகுதியாகிக்கொண்டே செல்லும். படிகம் போன்ற திடப்பொருள்களில் இந்த எலக்ட்ரான்களின்மீது செயல்படும் விசை மின்புலத்தால் மட்டுமல்லாது வேறுவகையிலுமிருக்கும். நேர்மின்னூட்டம் கொண்ட அணுக்கருவின் ஈர்ப்பு விசையும் மற்ற எலக்ட்ரான்களினுல் விலக்கித்தள்ளும் விசையும் ஒருசேரச் செயற்படும். எனவே, இவற்றின் விளைவாக எலக்ட்ரானின்வேகம் மிகுதியாகிக்கொண்டே செல்லாது. இந்தச் சூழ்நிலையில் ஒரு



படம் 4.10
மின்கடத்தாப் பொருளின் ஆற்றல் பட்டைகள்

திடப்பொருளில் எலக்ட்ரானின் இயக்கம் மிகச் சிக்கலான ஒன்ருக அமைகிறது.

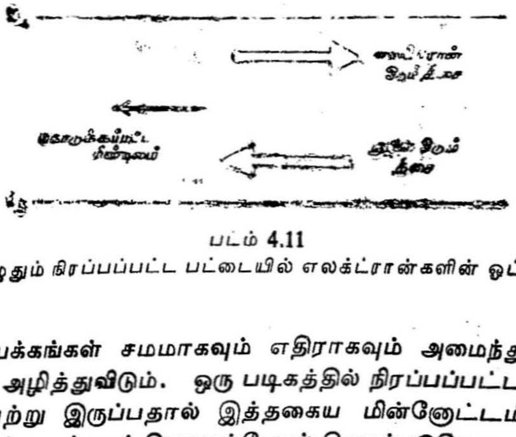
எலக்ட்ரான் இயக்கத்தில் மாறுபாட்டைத் தோற்றுவிப்பதில் அதைச் சுற்றியுள்ள பொருள்கள் பெரும்பங்கு கொள்கின்றன. இதன் விளைவாக,

1. தனித்த எலக்ட்ரானின் நிலையிலிருந்து மாறுபட்ட ஒரு நிறையை இந்த எலக்ட்ரான் பெற்றிருக்கிறது. இந்த நிறைக்கு 'விளைவு நிறை' (effective mass) என்று பெயர்.

2. மின்புலத்தில் உள்ள எலக்ட்ரானின் வேகம் சீராக் மிகுந்துகொண்டே போகாமல் ஓரளவு சராசரி நகர்வு வேகத்தை அடையும்படி இந்தச் சூழ்பொருள்கள் செயலாற்றுகின்றன. நகர்வு வேகம் மின்புலத்தின் வலிமைக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும்.

எனவே, எலக்ட்ரான்களால் ஒரு திடப் பொருளில் மின்னோட்டம் ஏற்படும்போது அந்த மின்னோட்டம் எலக்ட்ரான் களின் எண்ணிக்கையாலும் நகர்வுவேகத்தின் அளவாலும் தீர்மானிக்கப்படுகிறது.

ஒரு திடப்பொருளில் ஓர் ஆற்றல் பட்டையை எடுத்துக்கொள் வோம். இதில் பட்டையின் கீழ்வரம்பை ஒட்டியுள்ள குவான்டம் நிலையில் இருக்கும் எலக்ட்ரானின் விளைவுநிறை நேர்க்குறி கொண்டதாக எண்ணப்படுகிறது. பட்டையின் மேல்வரம்பை ஒட்டியுள்ள குவான்டம் நிலையிலிருக்கும் எலக்ட்ரானின் விளைவு நிறை எதிர்க்குறி கொண்டதாக எண்ணப்படுகிறது. நேர்விளைவு நிறையுடைய எலக்ட்ரான்கள் மின்புலத்தின் திசையிலேயே நகரும். ஆற்றல் பட்டை முழுவதும் நிரப்பப்பட்டதாக இருந்தால்



படம் 4.11
முழுதும் நிரப்பப்பட்ட பட்டையில் எலக்ட்ரான்களின் ஓட்டம்

இந்த இயக்கங்கள் சமமாகவும் எதிராகவும் அமைந்து ஒன்றை யொன்று அழித்துவிடும். ஒரு படிகத்தில் நிரப்பப்பட்ட பட்டை முழுமையுற்று இருப்பதால் இத்தகைய மின்னோட்டமிருக்காது. படிகம் மின்கடத்தாப் பொருள்போல் செயற்படுகிறது.

மின்புலத்தில் எலக்ட்ரான்களின் நகர்வுவேகம், அவற்றின் வெப்ப எழுச்சி இயக்கத்தினுடனேயே இருக்கும். வெப்ப எழுச்சியால் தோன்றும் எலக்ட்ரான்களின் ஒழுங்கற்ற இயக்கம் மின்னோட்டத்திற்கு உதவுவதில்லை. இருப்பினும், வெப்பமுறைகளில் எலக்ட்ரான்களின் மொத்த ஆற்றல் உயர்த்தப் படும்பொழுது குறைகடத்திகளில் அது முக்கியத்துவம் வாய்ந்த தாக அமைந்துவிடுகிறது. ஏனெனில், இந்த வெப்ப ஆற்றல் மின்கடத்தலுக்குத் தேவையான ஊர்திகளின் எண்ணிக்கையை மிகுதியாக்கிவிடுகிறது.

தூய குறைகடத்திகளில் எலக்ட்ரானின் இயக்கம்

எந்த ஒரு குறைகடத்தியிலும் தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் இடைவெளி-E_g மிகக்குறைவாக ஓர் எலக்ட்ரான் வோல்ட் அளவிலேயே இருக்கும். இணைதிறப் பட்டையின் மேல்மட்டத்திலுள்ள பல எலக்ட்ரான்கள் வெப்ப எழுச்சியின் காரணமாக ஆற்றல் இடைவெளியைக் கடப்பதற்குத் தேவையான ஆற்றலைப் பெற்றுவிடுகின்றன. இவை ஆற்றல் இடைவெளியைக் கடந்து, கடத்துப் பட்டையின் கீழ்வரம்பை ஒட்டியுள்ள குவான்டம் நிலைகளில் அமர்ந்துகொள்கின்றன. இணைதிறப் பட்டையின் கீழ் மட்டத்திலிருந்து கடத்துப் பட்டையின் மேல்மட்டத்திற்கு எலக்ட்ரான் செல்லும் வாய்ப்பு மிகக்குறைவே யாகும். ஏனெனில், இதற்கு மிகுந்த ஆற்றல் தேவைப்படும்.

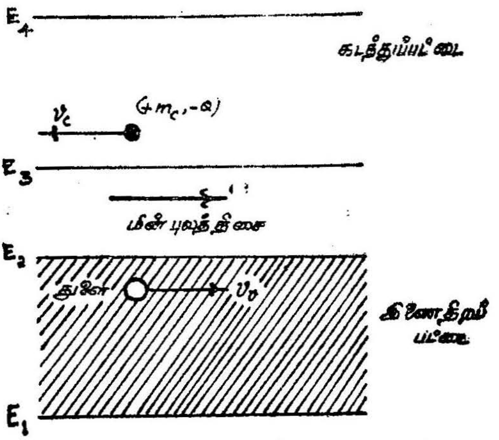
குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான்கள் இணைதிறப் பட்டையிலிருந்து வெளியேறி, ஆற்றல் இடைவெளியைக் கடந்து, கடத்துப் பட்டையில் இடம்பெறும்போது, அவையிருந்த இடங்களில் (இணைதிறப் பட்டையில்) துளைகள் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. கடத்துப் பட்டையிலுள்ள எலக்ட்ரான்களும் இணைதிறப் பட்டையிலுள்ள துளைகளும் சேர்ந்து மின்னோட்டத்தில் பங்குபெறுகின்றன. இதையே வேறு வகையில் சொன்னால் குறைகடத்தியிலுள்ள மின்னோட்டத்தின் ஒரு பகுதி கடத்துப் பட்டையிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் ஓட்டத்தாலும் மறுபகுதி இணைதிறப் பட்டையிலுள்ள துளைகளின் ஓட்டத்தாலும் (எதிர்த்திசை) தோற்றுவிக்கப்படுவதேயாகும்.

படம் 4-12-ல் ஆற்றல் பட்டையின் விபரம் காண்பிக்கப் பட்டுள்ளது. இணைதிறப் பட்டையின் மேல்வரம்பருகிலுள்ள குவான்டம் நிலையிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரான் கடத்துப் பட்டையின் கீழ் வரம்பருகிலுள்ள ஒரு குவான்டம் நிலைக்கு மாற்றப்பட்டிருப்பதைப் படம் காண்பிக்கிறது. ஒரு மின்புலம் காண்பிக்கப் பட்டிருக்கும் திசையில் செயற்படுவதாகக் கொள்வோம். கடத்துப் பட்டையின் கீழ்வரம்பிலுள்ள எலக்ட்ரான் —q மின்னூட்டமும் + m_e நிறையும் கொண்டது. இது மின்புலத்தின் செயலால் புலத்தின் எதிர்த் திசையில் V_e-வேகத்துடன் ஓடும்.

இணைதிறப் பட்டையின் மேல்வரம்பில் எலக்ட்ரான் வெளியேறிவிட்டதாற் தோன்றிய துளை உள்ளது. இதன் மின்னூட்டம் + q ஆக இருக்கும். இது மின்புலத்தின் திசையில் V_p-வேகத்துடன் ஓடும். இவ்வாறு எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் எதிரெதிர்த் திசைகளில் ஓடுவதால் மின்னோட்டம் ஏற்படுகிறது.

குறைகடத்தியிற் தோன்றும் மின்னோட்டம் இரண்டு பகுதிகளாலானது. 1. m_c நிறையையும் $-q$ மின்னூட்டத்தையுமுடைய (கடத்துப் பட்டையிலுள்ள) எலக்ட்ரான்கள் V_c-நகர்வு வேகத்துடன் மின்புலத்தில் எதிர்த்திசையில் ஓடுதல். 2. m_v-நிறையையும் $+q$-மின்னூட்டத்தையுமுடைய துளைகள் (இணைதிறப் பட்டையிலுள்ள) V_v-நகர்வு வேகத்துடன் மின்புலத்தின் திசையில் ஓடுதல்.

இவற்றால் தோன்றும் இரு மின்னோட்டங்களின் கூட்டுத் தொகையே மொத்த நகர்வு மின்னோட்டமாகும். எலக்ட்ரான்



படம் 4.12
கடத்துப் பட்டையிலும் இணைதிறப் பட்டையிலும் எலக்ட்ரான், துளை ஆகியவற்றின் இயக்கம்

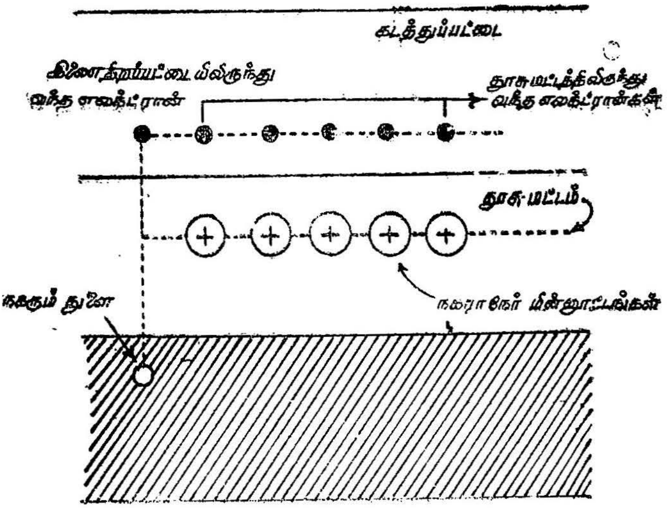
கள் மட்டும்தாம் குறைகடத்தியில் உண்மையில் உள்ளன. துளை என்பது எலக்ட்ரான் இல்லாத காலி இடத்தையே குறிக்கிறது. இருந்தாலும் கடத்துதிறனைத் தெளிவாக விளக்குவதற்கும், அதைப்பற்றிக் கணக்கீடுகள் செய்வதற்கும் துளையை எலக்ட்ரான் போலவே ஒரு துகளாகக் கருதுவது சாலச்சிறந்ததாகும்.

இணைதிறப் பட்டையின் மேல்வரம்பை யொட்டியுள்ள ஊர்திகளின் நகர்வு வேகம், V_v கடத்துப் பட்டையின் கீழ்வரம்பை யொட்டியுள்ள ஊர்திகளின் நகர்வு வேகம் V_c-யை விடச் சற்றுக் குறைவாகவே இருக்கும். ஏனெனில், இணைதிறப் பட்டையிலுள்ள ஊர்திகள் அணுக்கருவுக்கருகில் இருப்பதால் அவற்றின் மீது மின்புலத்தின் விளைவு சற்றுக் குறைவாகவே இருக்கும்.

தூய குறைகடத்தியில் ஒரே வகையான அணுக்கள் மட்டுமே முழுவதும் உள்ளன. நகரும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் துளைகளின் எண்ணிக்கையும் சமமாகவே இருக்கும். ஆனால், எலக்ட்ரானின் நகர்வு வேகம் V_c துளையின் நகர்வு வேகம் V_vஐ விடச் சற்று அதிகமாக இருப்பதால் மின்னோட்டத்தில் எலக்ட்ரான்களின் பங்கு துளைகளின் பங்கைவிடச் சற்று மிகுதியாக இருக்கும்.

n-வகைத் தூசுடைய குறைகடத்திகள்

ஒரு தூய குறைகடத்திக்கு மிகக் குறைந்த அளவு ஓர் ஐந்து இணைதிறம்கொண்ட தூசுப்பொருளைக் கலப்பதால் ஒரு n-வகைத்



படம் 4.13
n-வகைக் குறைகடத்தியின் ஆற்றல் படம்

தூசுக் குறைகடத்தி கிடைக்கிறது. கலக்கப்படும் தூசு அணுக்களின் அளவு மிகக் குறைவாக இருப்பதால், மூலக் குறைகடத்தியின் ஆற்றல் பட்டைகள் மாறாமலேயே யிருக்கும். இத்தோடு கூடப் புதிய குவான்டம் நிலைகள் தோற்றுவிக்கப்படும். கடத்துப் பட்டைக்கும் இணைதிறப் பட்டைக்கும் இடையே, தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் இடைவெளியில் இந்தப் புதிய குவான்டம் நிலைகள் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. மேலும், தூசு அணுக்கள் மிக மிகக் குறைந்த அளவே யிருப்பதால் அவை ஒன்றைவிட்டொன்று மிக மிகத் தள்ளியிருக்கும். அவற்றிடையே செயற் எதிர்ச்செயல்

தள்ளிவிடத்தக்க அளவுக்கு மிகமிகக் குறைவாயிருக்கும். எனவே, தூசு அணுக்களால் தோற்றுவிக்கப்படும் புதிய குவான்டம் நிலைகள் ஆற்றலின் ஒற்றை மதிப்புக்கொண்ட ஆற்றல் மட்டமாகவேயிருக்கும். இது ஓர் ஆற்றல் பட்டையாகப் பரவிநிற்காது.

n-வகை ஜெர்மேனியத்தில் ஐந்து இணைதிறம்கொண்ட ஆர்சினிகோ, ஆன்ட்டிமொனியோ பொதுவாகத் தூசு அணு வாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இவ்விரண்டில் எதைக் கலந்தாலும் அந்தத் தூசு அணு ஜெர்மேனியத்தில் தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் இடைவெளியில் தூசு ஆற்றல் மட்டத்தைத் தோற்றுவிக்கிறது. இது கடத்துப் பட்டைக்கு அருகிலிருக்கும். இதன் தோற்றம் படம் 4-13-ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. குறைந்த வெப்பநிலையில் தூசு அணு ஆற்றல் மட்டம் முழுவதும் நிரப்பப்பட்டதாக யிருக்கும். உயர் வெப்பநிலைகளில் இந்த மட்டத்திலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் தேவையான அளவு வெப்ப ஆற்றலை எடுத்துக் கொண்டு தூசு மட்டத்திலிருந்து கடத்துப் பட்டைக்குப் போய் விடுகின்றன. கடத்துப் பட்டைக்குப் போய்விடும் எலக்ட் ரான்கள் இயங்கக்கூடியதாக இருக்கும். இதனால், இவை படிகத்தின் மின்கடத்தலுக்குப் பயனுள்ளதாய் மாறுகின்றன. மேலும், இவை தூசு மட்டத்திலிருந்து கடத்துப் பட்டைக்கு இடம் மாறிச் சென்று விடுவதால் தூசு மட்டத்தில் நகரா நேர் மின்னூட்டங்களை அவை விட்டுச்செல்லும்.

தூய குறைகடத்திக்கும் தூசு கலந்த குறைகடத்திக்கும் ஒரு முக்கியமான வேறுபாடு இருக்கிறது. தூய குறைகடத்தியில் இணைதிறப் பட்டையில் தோற்றுவிக்கப்படும் துளைகள் நகரக் கூடியவை அல்லது இயங்கக்கூடியவை. இவை மின்கடத்தலில் பங்குகொள்கின்றன. இதற்கு மாறாக n-வகை போன்ற தூசு கலந்த குறைகடத்தியில் தூசு மட்டத்தில் தோற்றுவிக்கப்படும் துளைகள் இயங்கக்கூடியவை அல்ல. இவை நகராதிருக்கும். ஏனெனில், அடுத்துள்ள குறைகடத்தி அணுவிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரான் இந்தத் துளைக்குத் தாவிவர முடியாது. காரணம் இணைதிறப் பட்டையிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் இந்தத் தூசு மட்டத்திலுள்ள துளைக்கு வரவேண்டுமானால், அதற்கு மிகுந்த கூடுதல் ஆற்றல் தேவைப்படும். இத்தகைய மிகுந்த, கூடுதல் ஆற்றலை வெப்ப எழுச்சியால் இவை பெறுவதற்கான வாய்ப்பு மிகக் குறைவேயாகும். மேலும், மற்றொரு தூசு அணுவிலிருந்து தூசு மட்டத்திலுள்ள ஒரு துளைக்கு எந்த எலக்ட்ரானும் வந்து சேர முடியாது. ஏனெனில், இரண்டு தூசு அணுக்களுக்கிடை

யேயுள்ள தொலைவுமிகுதியால் அவற்றிடையே செயல் எதிர்ச் செயல் இருக்காது.

ஒவ்வொரு தூசு அணுவும் கடத்தல் பட்டைக்கு ஓர் எலக்ட்ரானைத் தருவதால் அல்லது கொடையாக அளிப்பதால் அவை 'கொடை அணுக்கள்' (Donor atoms) எனப்படுகின்றன. இந்தக் கொடை அணுத் தூசு கலந்த குறைகடத்தி n-வகைக் குறைகடத்தி எனப்படுகிறது. கடத்துப் பட்டையிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை இணைதிறப் பட்டையிலுள்ள நகரும் துளைகளின் எண்ணிக்கையைவிடப் பலமடங்கு மிஞ்சியிருக்கும். ஏனெனில், இணைதிறப் பட்டையிலிருந்து ஒருசில எலக்ட்ரான்கள் மட்டுமே கடத்தல் பட்டைக்கு வெப்ப ஆற்றலால் மாற்றப்படுவதால் இந்தத் துளைகள் தோன்றுகின்றன. எனவே, இந்த n-வகைக் குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான்களால்தாம் மின் கடத்தல் பெரும்பகுதி நடைபெறுகிறது. எனவே, இவை 'பெரும்பான்மை ஊர்திகள்' என அழைக்கப்படுகின்றன. எண்ணிக்கையில் மிகக்குறைந்த துளைகள் 'சிறுபான்மை ஊர்திகள்' என அழைக்கப்படுகின்றன.

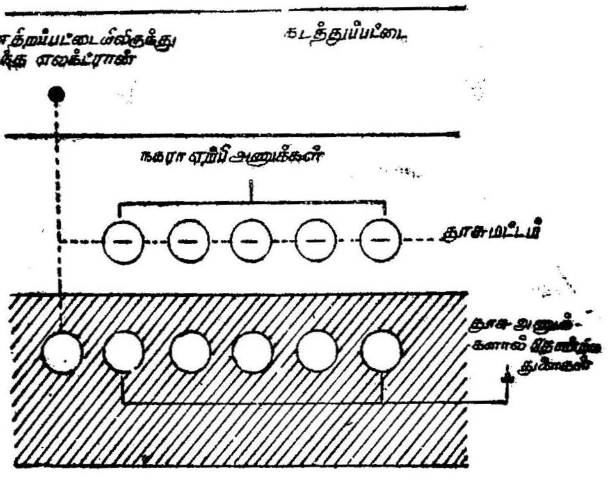
ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் போன்ற படிகங்களில் தூசு அணுக்கள் கலக்கப்படும்போது அறை வெப்பநிலையில் ஒவ்வொரு தூசு அணுவும் அயனியாக்கப்பட்டுவிடுகிறது. அதாவது, ஒவ்வொரு தூசு அணுவும் கடத்துப் பட்டைக்கு ஓர் எலக்ட்ரானைக் கொடையாக அளிக்கிறது. எனவே, தூசு அணுக்களால் கொடையாக அளிக்கப்பட்ட கடத்து எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை, வெப்ப எழுச்சியால் இணைதிறப் பட்டையிலிருந்து கடத்துப் பட்டைக்கு மாற்றப்பட்ட கடத்து எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைவிடப் பன்மடங்கு விஞ்சியிருக்கும். எனவே, ஒரு n-வகைக் குறைகடத்தியின் மின்கடத்துதிறனது ஏறத்தாழ முழுவதும் தூசு அணு அடர்த்தியைப்பொருத்து இருக்கும்.

P-வகைத் தூசு குறைகடத்திகள்

தூய குறைகடத்திக்கு ஒரு மூன்று இணைதிறம்கொண்ட தூசு அணுக்களை மிகக் குறைந்த அளவு கலப்பதால் P-வகைக் குறைகடத்தி கிடைக்கிறது. கலக்கப்படும் தூசு அணுக்கள் மிகக் குறைவாக இருப்பதால் தூய குறைகடத்தியின் ஆற்றல் பட்டைகள் மாறுபாடடையாமற் அப்படியே யிருக்கின்றன. இருந்தாலும், கலக்கப்படும் தூசு அணுக்களால் புதிய குவான்டம் நிலைகள் தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் இடைவெளியில் தோற்றுவிக்கப்

படுகின்றன. இவை இணைதிறப் பட்டைக்குச் சற்று மேலேயிருக்கும். தூசு அணுக்கள் குறைவாக இருப்பதால் அவை அருகருகே இருக்காது. எனவே, தூசு அணுக்களுக்கிடையே செயல் எதிர்ச் செயல் தள்ளிவிடத்தக்க அளவிற்குக் குறைவாகவே இருக்கும். எனவே, தூசு அணுக்களால் தோற்றுவிக்கப்படும் புதிய குவான்டம் நிலைகள் ஒற்றை மதிப்புடைய ஆற்றல் மட்டமாகவே இருக்கும். இவை ஆற்றல் பட்டைகளாக விரிவடையா.

அறை வெப்பநிலைகளில் இணைதிறப் பட்டை முழுவதும் நிரப்பப் பட்டிருக்கும். உயர் வெப்பநிலைகளில் இணைதிறப் பட்டையின் மேல் வரம்பிலிருந்து தூசுமட்டத்திற்குத் தாவிச்செல்லத் தேவையான ஆற்றலை எலக்ட்ரான்கள் வெப்ப ஆற்றலாகப் பெறுகின்றன.



படம் 4.14
p-வகைக் குறைகடத்தியில் ஆற்றல் படம்

இவ்வாறு ஓர் எலக்ட்ரான் தூசுமட்டத்தை அடைந்தவுடன் அது ஒரு தூசு அணுவினால் பிடித்துக்கொள்ளப் படுகிறது. இதனால், அந்தத் தூசு அணு ஒரு நேர் மின்னூட்டமாக மாறி அங்கேயே நகராதிருக்கும். இணைதிறப் பட்டையிலிருந்து இவ்வாறு ஒவ்வோர் எலக்ட்ரான்களும் வெளியேறும்போது அங்குத் துளை தோற்றுவிக்கப்படுகின்றது. இந்தத்துளை நகரக்கூடியது. இது குறைகடத்தியின் மின்கடத்தலில் பெரும்பங்கு வகிக்கிறது. வெப்ப ஆற்றலால் சில எலக்ட்ரான்கள் இணைதிறப் பட்டையிலிருந்து

கடத்துப் பட்டைக்கு இடமாற்றப் பட்டிருக்கக் கூடும். இதனால் இணைதிறப் பட்டையில் துளைகள் தோன்றியிருக்கும். இந்தத் துளைகளும் எலக்ட்ரான்களும்கூட நகரக்கூடியவை. இவையும் மின்கடத்தலில் பங்குகொள்கின்றன. இத்தகைய துளைகளின் எண்ணிக்கை தூசு அணுக்களால் தோற்றுவிக்கப்படும் துளைகளின் எண்ணிக்கையைவிடக் குறைவாகவே யிருக்கும்.

ஒவ்வொரு தூசு அணுவும் இணைதிறப் பட்டையிலிருந்து ஓர் எலக்ட்ரானை ஏற்றுக்கொள்கிறது. எனவே, இந்தத் தூசு அணுக்கள் 'ஏற்பி அணுக்கள்' என்று அழைக்கப்படுகின்றன. இந்தத் தூசு அணுக்களையுடைய குறைகடத்தி நேர்வகைக் குறை கடத்தி அல்லது p-வகைக் குறைகடத்தி என அழைக்கப்படுகிறது. இணைதிறப் பட்டையிலுள்ள நகரும் துளைகளின் எண்ணிக்கை கடத்துப் பட்டையிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை விடப் பன்மடங்கு விஞ்சியிருக்கும். எனவே, இந்தத் துளைகள் இங்கு 'பெரும்பான்மை ஊர்திகள்' என்று அழைக்கப் படுகின்றன. p-வகையில் எலக்ட்ரான்கள் சிறுபான்மை ஊர்திக ளாகும்.

ஜெர்மேனியத்திலோ சிலிக்கானிலோ கலக்கப்படும் ஒவ் வொரு தூசு அணுவும் அறை வெப்பநிலையில் அயனியாக்கப்பட்டு விடுகின்றன. அதாவது ஒவ்வொரு தூசு அணுவும் ஓர் எலக்ட் ரானை ஏற்றுக்கொண்டு இணைதிறப் பட்டையில் ஒரு துளையைத் தோற்றுவிக்கிறது. எனவே, துளைகளின் எண்ணிக்கை வெப்ப எழுச்சியால் தோன்றும் கடத்து எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக் கையைவிடப் பன்மடங்கு மிகுதியாயிருக்கும். எனவே, p-வகைக் குறைகடத்தியின் மின்கடத்தல் ஏறத்தாழ முழுவதும் தூசு அணு அடர்த்தியையே பொறுத்திருக்கும்.

வினாக்கள்

1. ஓர் அணுவின் அமைப்பு குவான்டம் கொள்கையின் அடிப் படையில் எவ்வாறு விளக்கப்படுகிறது?

2. சோடிங்கரின் அலைச் சமன்பாட்டைத் தருவித்துக்காட்டு. இதைப் பயன்படுத்தி ஒரு ஹைடிரஜன் அணுவிலுள்ள எலக்ட ரானின் ஆற்றலைக் கணக்கிடு.

3 ஆற்றல் கூடுகள் என்றால் என்ன? ஓர் அணுவிலுள்ள எலக்ட் ரான்களின் அமைப்புப் பற்றி விளக்கி எழுது.

4. ஓர் அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் குவாண்டம் நிலைகளை யும், ஆற்றல் பட்டைகளையும் விளக்கு.

5. ஆற்றல் இடைவெளி என்றால் என்ன? ஒரு படிகத்தில் ஆற்றல் பட்டைகள் எவ்வாறு தோன்றுகின்றன?

6. ஒரு படிகத்திலுள்ள ஆற்றல் பட்டைகளில் குவாண்டம் நிலைகள் எவ்வாறு பங்கீடு பெற்றிருக்கின்றன என்று கணக்கிட்டுக் கூறு.

7. மின்கடத்திகள், கடத்தாப் பொருள்கள், குறைகடத்திகள் ஆகியவற்றின் மின்கடத்துதிறன்கள் ஆற்றல் பட்டைக் கோட்பாட்டின் அடிப்படையில் எவ்வாறு விளக்கப்படுகின்றன.

8. ஆற்றல் பட்டைக் கோட்பாட்டின் அடிப்படையில் n-வகைக் குறைகடத்தி, p-வகைக் குறைகடத்தி ஆகியவற்றின் கடத்து திறன்கள் எவ்வாறு விளக்கப்படுகின்றன.

9. ஒரு தூய ஜெர்மேனியப் படிவத்தில் 27°C-யில் ஓர் எலக்ட்ரான் கடத்துப் பட்டையின் அடியிலும், மேலே 0·25 ev மற்றும் 0·05 ev உயரத்திலும் காணப்படுவதற்கான நிகழ் திறன் என்ன? அதே படிவத்தில் அதே வெப்பநிலையில் இணைதிறப் பட்டையின் மேல்மட்டத்தில் ஒரு மின்துளை இருப்பதற்கான நிகழ்திறன் என்ன?

10. எலக்ட்ரான்கள், மின்துளைகளின் நகர்வு எண்கள் மாறுபட்டிருக்கும் காரணத்தினால், உள்ளார்ந்த கலப்பின் எல்லையில் ஒரு குறைகடத்தியின் மிகுந்த மின்தடை எண்ணைப் பெற முடியாது. இதற்கான ஒரு சமன்பாட்டைக் கண்டறிந்தால் நமக்கு $\frac{l_{max}}{l_i} = \frac{\mu n + \mu p}{2\sqrt{\mu p \mu n}}$ என்ற சமன்பாடு கிடைக்கிறது. $\mu n = 3\mu_p$ கொண்ட ஒரு குறைகடத்தியின் கலப்பு மட்டத்தின் முடிவு l_{max}. இவ்வகைக் கலப்பு p வகையானதா அல்லது n வகையைச் சார்ந்ததா?

11. ஒரு மிகுதிக்கலப்பில் p பகுதியிலும், n பகுதியிலும் உள்ளார்ந்த கலப்பின் அடுக்கிலும், சந்தியில் உண்டாகும் தோன்று மின்னழுத்தத்தைத் தருவி (built in potential).
குறிப்பு: $n = n_i$ எனக் கொள்க.

12. ஒரு தூய ஜெர்மேனியப் படிகத்தில் 300°K-ல் ஓர் எலக்ட்ரான் கடத்துப் பட்டையின் அடியிலும், 0 25 எலக்ட்ரான் வோல்ட், 0·05 எலக்ட்ரான் வோல்ட் உயரத்திலும் காணப் படுவதற்கான நிகழ்திறன் என்ன? அதே படிகத்தில் இதே

வெப்பநிலையில் இணைதிறப் பட்டையின் மேல்மட்டத்தில் ஒரு மின்துளை இருப்பதற்கான நிகழ்திறன் என்ன ?

13. ஓர் ஆற்றல் பட்டை ஓரத்தின் தொடுகோடானது மின் புலத்தின் அளவைக் குறிக்கும் என்று மெய்ப்பிக்க.

14. ஒரு க.மி.மி. ஜெர்மேனியம் படிகத்தில் $2 \cdot 5 \times 10^7$ எலக்ட்ரான்கள் கடத்துப் பட்டையில் உள்ளன. படிகத்தின் ஒரு பக்கத்தில் 1cmக்கு 6 வோல்ட் உள்ள ஒரு மின்புலம் அமைத்தால் எவ்வளவு எலக்ட்ரான் மின்னோட்டம் இருக்கும் ?

15. ஓர் உலோகம் கடத்துப் பட்டையின் அடிமட்டத்துக்கு மேலே 8·95 எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஃபெர்மி மட்டத்தைப் பெற்றிருக்கிறது. எலக்ட்ரானின் தனி நிறையை எடுத்துக்கொண்டு ஃபெர்மி மட்டத்தில் எலக்ட்ரானின் உந்தத்தைக் (momentum) கணக்கிடு. ஓரலகு கன அளவுக்கு ஃபெர்மி மட்டத்திற்குக்கீழே எத்தனை ஆற்றல் மட்டங்கள் உள்ளன என்று கணக்கிட்டுக் கூறு ?

16. ஃபெர்மியின் எண் 0·99 லிருந்து 0·01வரை மாறுபடும்போது ஆற்றலின் நெடுக்கத்தை (range) KTயின் பெருக்கல்களாகக் கணக்கிடு. 300°K வெப்பநிலையில் ஆற்றல் நெடுக்கத்தின் எலக்ட்ரான் வோல்ட்டைக் கணக்கிடு.

17. ஓர் உலோகத்தின் கடத்துப் பட்டையிலுள்ள ஆற்றல் அடர்த்தி நிலைகளை ஆற்றலின் சார்பாகக் கணக்கிட எடுத்துக் கொள்ளப்படும் அடிப்படைத் தற்கோள்கள் யாவை?

18. O°K வெப்பநிலையில் ஓர் உலோகத்தின் கடத்துப் பட்டையிலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரானின் சராசரி ஆற்றலைக் (ஃபெர்மி மட்டத்தின் சார்பில்) கணக்கிடுக.

19. 300°Kயில் ஜெர்மேனியத்தில் தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் இடைவெளி 0·72ev ஆகும். தூய நிலையில் ஊர்தி அடர்த்தி $2 \cdot 5 \times 10^{13}$/க.செ.மீ ஆகும். $\frac{m_c m_v}{m^2}$ன் மதிப்பைக் கணக்கிட்டுக் கூறு. (m என்பது தனி எலக்ட்ரானின் நிறை)

20. கீழ்க்காணும் குறிப்புகளிலிருந்து 1 செ.மீ பக்க நீளமுள்ள க.சதுர ஜெர்மேனியப் படிகத்தில் காணப்படும் இணைதிற எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடு.

ஜெர்மேனியத்தின் அணு எடை	72·6
ஜெர்மேனியப் படிகத்தின் அடர்த்தி	5·32
அவாகாட்ரோ எண்	$6 \cdot 025 \times 10^{23}$
ஜெர்மேனியத்தின் இணைதிறன்	4.

21. ஒரு செ மீ பக்கமுள்ள க.சதுரப் படிகத்தில்—தூய சிலிக்கான் படிகத்தில் காணப்படும் எலக்ட்ரான் மின்துளை இரட்டைகளின் எண்ணிக்கைகளை (a) 300°K-ல் (b) 330°K-ல் ஒப்பிடுக. (சிலிக்கானின் ஆற்றல் இடைவெளி 1 13 ev).

22. 300°K வெப்பநிலையில் 1 செ.மீ நீளம், 1 மி.மீ. அகலம், 1 மி.மீ உயரமுள்ள தூய ஜெர்மானியக் கட்டையின் மின் தடையைக் காண்க. ($n_i = 2 \cdot 5 \times 10^{13}$, $\mu_n = 3900$, $\mu_p = 1900$ செ.மீ^{2}/வோல்ட்—விநாடி)

23. ஒரு p-வகை ஜெர்மேனியப் படிகத்தில் ஏற்பி அணுச் செறிவு 1க.செ.மீட்டருக்கு 4×10^{15}. 300°K வெப்பநிலையில் எல்லா ஏற்பி அணுக்களும் அயனியாக்கப்படுவதாகக் கொண்டு, படிகத்தின் கடத்து திறனைக் காண்க. படிகத்தின் கடத்துதிறனில் எலக்ட்ரானின் பங்கு மிகமிகக் குறைவு எனக் காட்டு.

24. ஜெர்மேனியப் படிகத்தின் கடத்துதிறன் 300°K-ல் 2 மோ/செ.மீ ஆக இருக்கவேண்டுமெனில் ஒரு க.செ.மீ படிகத்திற்குத் தேவையான கொடை அணுச் செறிவு எவ்வளவு என்று கணக்கிடு.

25. 100கிராம் தூய ஜெர்மேனியத்தில் $0 \cdot 5 \times 10^{-8}$ கிராம் ஆர்சனிக் கலக்கப்படுகிறது. அறை வெப்பநிலையில் எல்லாக் கொடை அணுக்களும் அயனியாக்கப்படுகின்றன. இந்த nவகை ஜெர்மேனியப் படிகத்தில் தனி எலக்ட்ரான் செறிவு, துளைகளின் செறிவு, கடத்துதிறன் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக.

26. 1200°K-ல் இதே படிகத்தின் கடத்துதிறன், மின்தடை எண் ஆகியவற்றைத் தீர்மானிக்க.

27. ஒரு சிலிக்கான் படிகத்தில் தூய நிலையில் ஊர்திச் செறிவு $1 \cdot 4 \times 10^{10}$/செ·மீ^{3} ஆகும். அதன் கொடை அணுச்செறிவு $1 \cdot 4 \times 10^{16}$/செ·மீ^{3} என்றால் மின்துளைச் செறிவு எவ்வளவு? [குறிப்பு: $n \approx N_d$ எனக் கொள்க] எலக்ட்ரான் செறிவுக்கும் துளைச் செறிவுக்குமுள்ள தகைவைக் கண்டுபிடி.

28. ஒரு சதுர செ.மீ குறுக்குவெட்டுப் பரப்பும் 2 செ·மீ நீளமும் கொண்ட ஒரு சிலிக்கான் கட்டையில் கொடை அணுச் செறிவு 10^{15}/க.செ.மீ. இக் கட்டையின் மின்தடை 10 ஓம்கள். இதில் எலக்ட்ரான்களின் நகர்திறன் எவ்வளவு?

[$q = 1 \cdot 6 \times 10^{-19}$ கூலூம்]

5. குறைகடத்தியின் ஃபெர்மி-டிராக் புள்ளித்தொகுப்பியல் அல்லது கணிப்பியல்

ஃபெர்மி - டிராக் பங்கீடு முறை

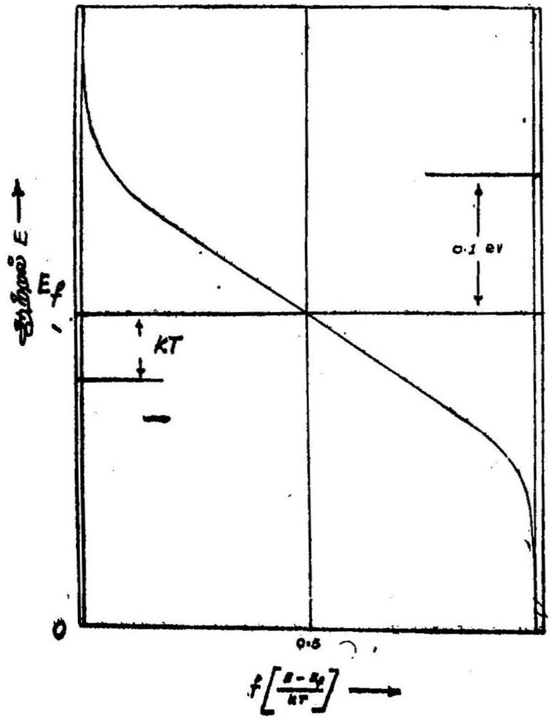
இந்தப்பகுதியில் வெவ்வேறு குவான்டம் நிலைகளில் எலக்ட்ரான்கள் பங்கீடு பெறும்போது அல்லது இடம் பெறும்போது இதில் வெப்ப எழுச்சியின் விளைவுபற்றி விவரிக்கப்படும். தனிச் சுழி வெப்பநிலையில் இவை எவ்வாறு இருக்கின்றன என்று முதலில் விவரித்துவிட்டுப் பிறகு கீழ்க்குவான்டம் நிலையிலிருந்து மேல் நிலைக்கு எலக்ட்ரான் கிளர்ச்சியுற்றுச் செல்லும்போது இது எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதை விளக்கலாம். பல்வேறு ஆற்றல்களில் இருக்கும் ஆற்றல் நிலைகளின் எண்ணிக்கையை 'ஃபெர்மி - டிராக் பங்கீட்டுச் சார்பால்' (Fermi-Diracfunction) குறிக்கலாம். இந்தச் சார்பு பொதுவாக எலக்ட்ரான்களுக்குப் பயன்படுத்தத்தக்க ஒன்றே.

சுழிவெப்பநிலையில் எலக்ட்ரான்கள் மிகத்தாழ்ந்த குவான்டம் நிலைக்கு வந்து இங்கே நிரம்புகின்றன. இப்படி நிரப்பப்படும் போது இது பௌலியின் தவிர்த்தல் விதிக்கு உட்பட்டே நிரப்பப் படும். இதன் விளைவாகக் குறிப்பிட்ட ஆற்றலுக்குக் கீழே எல்லாக் குவான்டம் நிலைகளும் நிரம்பியதாக இருக்கும். இதற்கு மேல் உள்ள நிலைகள் காலியாக இருக்கும். வெப்ப எழுச்சி இருந்தால் எலக்ட்ரான்கள் மேல்நிலைகளுக்குச் செல்ல முற்படும். புள்ளித்தொகுப்பு இயக்கவியல் கோட்பாட்டின்படி இந்த முயற்சி ஆற்றலாகக் குறிப்பிடப்படுகிறது. KT என்பது ஒரு பரிமாண அலையியற்றியின் ஆற்றலைக் குறிக்கும். (T - என்பது தனி வெப்ப நிலை. K - என்பது போல்ஸ்மென் மாறிலி).

தனிச்சுழி வெப்பநிலையிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள்—காலியான நிலைகளுக்குரிய ஆற்றலைவிட, ஏறத்தாழ KT அளவு குறைவாக ஆற்றலையுடைய எலக்ட்ரான்கள்—மேல் நிலைக்குக் கிளர்ச்சியுற்றுச் செல்லமுடியும். காலியான நிலைகளுக்குரிய ஆற்றலைவிடக் KT-யைப் போன்று பலமடங்கு குறைவான ஆற்றலையுடைய

எலக்ட்ரான்கள் கிளர்ச்சியுற்று மேல்நிலைக்குச் செல்லும் வாய்ப்பு மிக அரிதானது. உயர் வெப்பநிலைகளில் சமமான பங்கீடு கொள்வதற்கு, நிரப்பப்பட்ட நிலைகளுக்கும் காலியான நிலைகளுக்கும் இடைப்பட்ட ஆற்றல் ஏறத்தாழ 2 KT - யாகக் குறுகி விடுகிறது.

இந்தநிலை ஃபெர்மி - டிராக் பங்கீட்டுச் சார்பால் மிக விரிவாக விளக்கப்படுகிறது. f - என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படும் இந்தச்



படம் 5.1
ஃபெர்மி டிராக் பங்கீட்டுச் சார்பு

சார்பு ஆற்றல் Eஐயும் வெப்பநிலை Tஐயும் பொறுத்தது. அதன் மதிப்பு O-விலிருந்து 1-வரை இருக்கும். இந்தச் சார்புக்குக் கீழ்க்கண்டவாறு பொருள் கொள்ளலாம்.

'வெப்பச் சமநிலையில் E-ஆற்றலுடைய ஒரு குவான்டம் நிலையில் ஓர் எலக்ட்ரான் இடம்பெறும் நிகழ்வாய்ப்பே (probab-

lity) ஃபெர்மி - டிராக் f-ன் மதிப்பாகும்.' எனவே, எலக்ட்ரான்கள் இடம்பெறும் (E-ஆற்றலுடைய) எல்லாக் குவான்டம் நிலைகளுடைய கூறுகளின் சராசரி மதிப்பே இந்தச் சார்பு ஆகும்.

கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள எடுத்துக்காட்டினுல் இது நன்கு விளங்கும். அடுத்துள்ள படம் 5·1-ல் f-ன் மதிப்புக்கும் ஆற்றலுக்கும் ஒரு வரைபடம் வரையப்பட்டுள்ளது. இதில் உயர் ஆற்றல்களில் f-ன் மதிப்பு O-ஆகவும், குறை ஆற்றல்களில் f-ன் மதிப்பு 1-ஆகவும் இருக்கக் காணலாம். ஏறத்தாழ 4KT ஆற்றல் நெடுக்கத்தில் இதன் மதிப்பு O-விருந்து 1-க்கு மாறுகிறது. f-ன் மதிப்பு $\frac{1}{2}$ ஆக இருக்கும்போது அதற்கு நேரான ஆற்றல் E_f 'ஃபெர்மி - ஆற்றல் மட்டம்' எனப்படும்.

அறை வெப்பநிலையில் ஆற்றல்களோடு ஒப்பிட எலக்ட்ரான் வோல்டிலும் அளவீடு கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது. அறை வெப்ப நிலையில் $T = 300°K$-யில் KT-ன் மதிப்பு 0·026 எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆகும். சில நேரங்களில் இந்த ஆற்றல்களை ஒளிக் குவான்டத்துடன் ஒப்பிடுவது எளிதாக இருக்கும்.

ஃபெர்மி - டிராக் பங்கீட்டுச்சார்பின் புள்ளித் தொகுப்பியல் அல்லது கணிப்பியல் தன்மையைக் குறிப்பிடுவது இங்கு தேவையாகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட ஆற்றலுடைய குவான்டம் நிலைக்கான நிகழ்வாய்ப்பை இந்தச் சார்பு f அரிதியிட்டுக் கூறுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக $f = \frac{1}{2}$ ஆக உள்ள ஓர் ஆற்றலில் ஆறு குவான்டம் நிலைகளை எடுத்துக்கொள்வோம். வெப்பச் சம நிலையில் இந்த நிலைகளில் 3 எலக்ட்ரான்கள் இருக்கும். இருந்தாலும் எலக்ட்ரான்கள் வெப்ப எழுச்சியால் ஆற்றல் நிலையை விட்டு வெளியேறியும் உள்ளேவந்துகொண்டு மிருப்பதால் இந்த எண்ணிக்கை மாறுபடலாம்.

குறைந்த எண்ணிக்கையுள்ள ஆற்றல் நிலைகளைக் காணும் போது இந்தப் புள்ளித் தொகுப்பியல் மாற்றம் (எண்ணிக்கையில் மாற்றம்) மிகுதியாக இருக்கும். குறைகடத்திகளில் 10^{10} அல்லது அதற்கு அதிகமான ஆற்றல் நிலைகளிலுள்ள தொகுப்புகளை நாம் காண்கிறோம். எனவே, இந்தப் புள்ளியியல் மாற்றம் தள்ளி விடத்தக்க அளவிற்குக் குறைவாகவே இருக்கும்.

ஃபெர்மி - டிராக் பங்கீட்டுச்சார்பின் கணக்கியல் வடிவம் எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் உள்ள சீரமைப்பைத் தெளிவாகக் காண்பிக்கிறது. படம் 5·1-ல் காட்டியபடி $f = \frac{1}{2}$ மதிப்பிற்கு நேரான ஆற்றல் மட்டம் E_f என்று கொண்டு (ஃபெர்மி ஆற்றல்

மட்டம்), E ஆற்றலுக்கு நேரான f-ன் மதிப்பு கீழ்க்காணும் வாய்பாட்டால் தரப்படுகிறது.

$$f = f\left[\frac{E - E_f}{KT}\right]$$

$$= \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{E - E_f}{KT}\right)}} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 5\cdot 1$$

முன் விளக்கியபடி f-என்பது E-ஆற்றல் மட்டத்தில் உள்ள குவான்டம் நிலையில் இடம்பெறும் நிகழ்வாய்ப்பைத் தருகிறது. E, E_fஐவிட மிகுதியாக இருந்தால் (KT-யைப்போல் பலமடங்கு) சமன்பாடு 5·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ள $e^{\left(\frac{E - E_f}{KT}\right)}$-ன் மதிப்பு 1ஐவிடப் பலமடங்கு மிகுதியாயிருக்கும். எனவே,

$$f \simeq e^{-\left(\frac{E - E_f}{KT}\right)} \qquad E > E_f \ldots\ldots 5\cdot 2$$

இது மாக்ஸ்வெல் - போல்ட்ஸ்மென் பங்கீட்டு முறையில் வருகின்றதை ஒத்திருக்கின்றது. இதைப் பழங்கொள்கைத் தோராயம் (classical approximation) எனலாம். இதற்கு மாறாக, $E < E_f$ ஆனல்,

$(1 + e)^{-1} \simeq 1 - e$ என எழுதலாம்.

$$\therefore f \simeq \left[1 - e^{\left(\frac{E - E_f}{KT}\right)}\right] \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 5\cdot 3$$

E_f-க்கு மேலேயுள்ள ஆற்றல் மட்டங்களில் f-ன் மதிப்பு சுழியாகிறது. ஏனெனில், $e^{\frac{-\Delta E}{KT}}$ சுழியாகிறது. ΔE, E_fக்கு மேலேயுள்ள உயரத்தைக் காட்டுகிறது. E_f-க்குக் கீழே f ஒன்றை நோக்கிச் செல்கிறது. f-க்கும் 1-க்கும் உள்ள வேறுபாடு $e^{\frac{-\Delta E}{KT}}$-ஆல் தரப்படுகிறது. ΔE - என்பது இங்கு E_fக்குக் கீழ் உள்ள ஆற்றலைத்தரும். [$K = 1\cdot 38 \times 10^{-23}$ ஜூல்/°K. இது போல்ட்ஸ்மென் மாறிலி ஆகும்].

f-என்பது எலக்ட்ரான்கள் இடம்பெற்றுள்ள குவான்டம் நிலைகளின் கூறு என்று கொண்டிருப்பதால் $(l-f)$, காலியாக இருக்கும் நிலைகளைக் குறிக்கும் கூறு ஆகும். அதாவது, துளைகள் இடம்பெற்றுள்ள குவான்டம் நிலைகளின் கூறு $(l-f)$ல் தரப் படுகிறது. சமன்பாடு 5·3-ன்படி E_f-க்குக் கீழே ΔE ஆற்றல் மட்டத்தில் உள்ள குவான்டம் நிலையில் துளை, இடம்பெறும் நிகழ் வாய்ப்பைத் தருவதாகக் கொள்வோம். இது E_fக்கு மேலே ΔE மட்டத்தில் உள்ள குவான்டம் நிலையில் எலக்ட்ரான்கள் இடம் பெறும் நிகழ்வாய்ப்பைக் காண்பதற்குச் சமம் ஆகும். இது ஒரு பொதுவான முடிவே ஆகும் துளைகளுக்கான பங்கீட்டுச்சார்பை,

$f_p = (l-f)$ என்று எழுதலாம்.

$$f_p = (l - f) = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{E_f - E}{KT}\right)}} \qquad \ldots \quad 5 \cdot 4$$

இங்கு f_p-என்பது E_f-க்குக் கீழே ஆற்றல் மட்டத்தில் அளக்கப் படும் சார்பைத் தருகிறது. ஆனால், சமன்பாடு 5·1, E_fக்கு மேலே அதே மட்டத்தில் அளக்கப்படும் f-ன் மதிப்பைத் தருகிறது. இதையே வேறுவழியில் சொன்னால் சார்பு f (படம் 5·1-ல் காட்டியுள்ளது போல்) $E = E_f$, $f = \frac{1}{2}$ல் சமச்சீர் நடுப்புள்ளியைக் கொண்டதாக அமைந்துள்ளது.

ஒரு குறைகடத்திக்கு ஃபெர்மி-டிராக் கணிப்பியல் அல்லது புள்ளித் தொகுப்பியல்

ஒரு குறைகடத்தியில் குறிப்பிடத்தக்க நிலை அதன் மின் னூட்ட நடுநிலைப்பண்பே யாகும். இந்தநிலை கடத்துதிறனின் அடிப்படையில் ஏற்படுகிறது. சமநிலையில் மொத்த மின்னூட்ட அடர்த்தி ஒரு கடத்தியில் சுழியாகவே இருக்கும். இதற்குக் குவாண்டம் நிலைகளில், ஒரு குறிப்பிட்ட மாறா எண்ணிக்கையுள்ள எலக்ட்ரான்கள் இருக்கவேண்டும். முதலில் இந்த எண்ணிக் கையைத் தீர்மானிப்பவை எவை என்பதைப் பார்ப்போம். பிறகு ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டம் இதற்கு ஏற்றவாறு எவ்வாறு சரி செய்யப்படுகிறது என்பதையும் காணலாம்.

முழு இணைதிறப் பிணைப்பு அமைப்பிலிருந்து சற்றே மாறு பட்ட நிலைகளில்தான் இங்குக் கணக்கீடுகள் செய்யப்படுகின்றன. எனவே, மொத்த எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை எடுத்துக் கொள்ளாமல் இணைதிறப் பிணைப்பு அமைப்பில் நிரப்புவதற்குத்

தேவையான எலக்ட்ரான்களைவிட மிகுதியாக உள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையை மட்டும் எடுத்துக்கொண்டால் எளிதாக இருக்கும். ஓரலகு பருமனில் இருக்கும் மிகுதி எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை கீழ்க்கண்டவற்றால் தீர்மானிக்கப்படும்.

n = கடத்துப் பட்டையிலுள்ள மிகுதி எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை. (கொடை அணுக்களுடன் பிணைப்பில் இல்லாத).

n_d = கொடை அணுக்களுடன் பிணைப்பிலுள்ள மிகுதி எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை.

p = ஏற்பி அணுக்களுடன் பிணைப்பிலில்லாத இணைதிறப் பிணைப்புப் பட்டையிலுள்ள துளைகளின் எண்ணிக்கை.

p_a = ஏற்பி அணுக்களுடன் பிணைக்கப்பட்டுள்ள துளைகளின் எண்ணிக்கை.

இவை நான்கும் படிகத்தின் ஓரலகு பருமனில் உள்ளவை. எனவே, அடர்த்திகள் எனவும் கூறப்படும். ஓரலகு பருமனுக்குள்ள எண்ணிக்கையே அடர்த்தி யெனப்படுகிறது. இவை நான்கும் சுழியாக இருந்தால் இணைதிறப் பிணைப்புகள் முழுமையுற்று மிகுதி எலக்ட்ரான்கள் இரா. இவை சுழியில்லை என்றால் மொத்த மிகுதி எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை,

$$n + n_d - p - p_a \text{ ஆகும்.} \qquad 5\cdot5$$

இந்தப் பகுதியில் புள்ளித் தொகுப்பியலை விரிவாகக் கூற, இந்த நான்கு அடர்த்திகளோடுகூட வேறுசில கூறுகளும் தேவைப்படுகின்றன. இவற்றைக் கீழ்வரும் அட்டவணையில் காணலாம்.

N_c, N_v-என்பனவற்றை நாம் இன்னும் அறுதியிட்டு வரையறுக்கவில்லை. இருந்தாலும், தேவைக்காக அவற்றை எடுத்துக்கொள்கிறோம்.

நேர் மின்னூட்டங்கள்

P = இணைதிறப் பிணைப்புப் பட்டையில் துளைகளின் அடர்த்தி.

P_a = ஏற்பி அணுக்களுடன் பிணைக்கப்பட்ட துளைகளின் அடர்த்தி.

$P_t = P + P_a$

N_d = கொடை அணுக்களின் அடர்த்தி.

எதிர் மின்னூட்டங்கள்

n = கடத்துப் பட்டையில் மிகுதி எலக்ட்ரான்களின் அடர்த்தி.

n_d = கொடை அணுக்களுடன் பிணைக்கப்பட்ட மிகுதி எலக்ட்ரான்களின் அடர்த்தி.

$n_t = n + n_d$

N_a = ஏற்பி அணுக்களின் அடர்த்தி.

மற்ற அடர்த்திகள்

N_s = ஓரலகு பருமனுக்கான அணுப்புள்ளிகளின் எண்ணிக்கை.

N_c = கடத்துப் பட்டையில் குவான்டம் நிலைகளின் விளைவு அடர்த்தி.

N_v = இணைதிறப் பிணைப்புப் பட்டையில் குவான்டம் நிலைகளின் விளைவு அடர்த்தி.

இணைதிறப் பிணைப்பு அமைப்பு முழுமையுற்று இருக்கும்போது மிகுதி எலக்ட்ரான்கள் இரா. இதனால், படிகத்தில் மின்னூட்டம் இல்லாது இருக்கிறது எனக் கூறமுடியாது. கொடையணுக்களும், ஏற்பியணுக்களும் ஆங்காங்கே இருப்பதால் மின்னூட்டம் மற்று இருக்கமுடியா. ஒரு கொடையணுவைச்சுற்றி இணைதிறப் பிணைப்பு முழுமையுற்றுத்தான் இருக்கும். இதனால் தான் ஓர் எலக்ட்ரானைக் கொடுத்துவிட்டு, கொடையணு நிலையுற்ற நேர் மின்னூட்டமாக இருக்கும். இதேபோன்று ஏற்பியணு எதிர் மின்னூட்டமாக இருக்கும். இணைதிறப் பிணைப்பு முழுமையாக இருக்கும்போது மொத்த மின்னூட்டம்,

$e(N_d - N_a)$ ஆகும். N_d—கொடையணு அடர்த்தி.

N_a—ஏற்பியணு அடர்த்தி.

முழுமையுற்ற இணைதிறப் பிணைப்பு அமைப்பில், மிகுதி எலக்ட்ரான்கள் இருக்கும்போது மொத்த மின்னூட்டம் சுழியாகும்.

$$e(N_d - N_a) - e(n + n_d - P - P_a) = O$$

$$n + n_d - P - P_a = N_d - N_a \qquad 5\cdot6$$

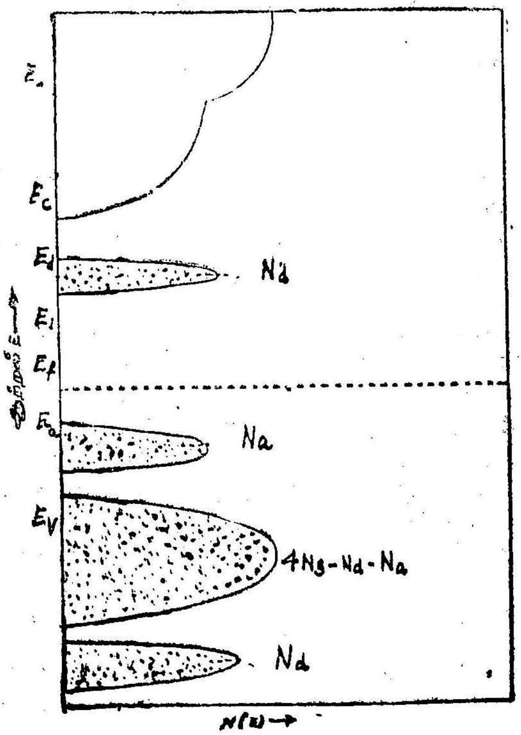
இது மொத்த மிகுதி எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை ஏற்பி அணுக்களைவிட மிகுதியாக உள்ள கொடையணுக்களின் எண்ணிக்கைக்குச் சமம் என்பதைக் காட்டுகிறது.

n, n_a, p, p_a — ஆகியவற்றின் மதிப்புகள்.

i) ஆற்றல் மட்டத்தில் குவான்டம் நிலைகளின் பங்கிடப் பட்டிருக்கும் முறை.

ii) ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டம் E_f-ன் மதிப்பு.

iii) வெப்பநிலை ஆகியவற்றைப் பொறுத்து அமையும்.



படம் 5.2
n-வகைக் குறைகடத்தியில் ஆற்றல் குவான்டம் நிலைகளின் பங்கீடு

$N(E)$, $[N(E) + dE]$ ஆற்றல் எல்லைகளுக்கு இடையேயுள்ள மொத்தக் குவான்டம் நிலைகள்,

$$ds = N(E)\,dE \text{ ஆகும்.} \qquad \ldots 5{\cdot}7$$

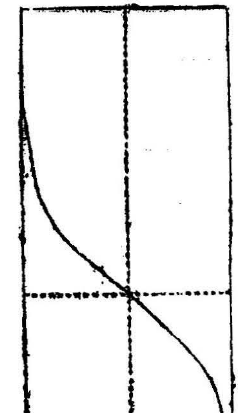
இதன் ஒரு பகுதி f-ல் எலக்ட்ரான் இடம்பெறுகின்றன என்று கொண்டால், $N(E)$ க்கும் $N(E) + dE$ ஆற்றல் எல்லைகளுக்

இடையேயுள்ள குவான்டம் நிலைகளில் இடம்பெறும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை $f \times ds$ ஆகும்,

$$f\, N(E)\, dE \qquad \ldots 5\cdot 8$$

இது E-யிலிருந்து E_2 வரையுள்ள ஆற்றல் நெடுக்கத்திற்குத் தொகுநியாக்கப்பட்டால் இது $n_d + n$ ஐத் தரும். E_1-லிருந்து E_2 வரையுள்ள ஆற்றல் நெடுக்கம் கடத்துப் பட்டையில் கொடையணுக்களின் நிலைகளைக் குறிப்பதாகும்.

$$n_t = n + n_d = \int_{E_1}^{E_2} f.\ \ N(E)dE \qquad \ldots 5\cdot 9$$



படம் 5.3
ஃபெர்மி-டிராக் பங்கீடு

E_2-ன் சரியான மதிப்பு நமக்கு முக்கியமில்லை. ஏனெனில், உயர் ஆற்றல்களில் f-ன் மதிப்பு சுழியாகி விடுகிறது. உண்மையில் ஆற்றல் பட்டையின் கீழ்வரம்பு தவிர மற்றப் பகுதிகளில் f-ன் மதிப்பு மிகமிகக் குறைந்தே இருக்கும். படம் 5·4-ல் $N(E)\ f_n$-ம், $N(E)\ f_p$-ம் குறித்துக் காட்டப்பட்டுள்ளன.

படம் 5·3 ஃபெர்மி-டிராக் சார்பு எவ்வாறு ஆற்றல் மட்டத்தோடு மாறுபடுகிறது என்பதைக் காட்டுகிறது. இது n-வகைக் குறைகடத்திக்கான ஃபெர்மி - டிராக் சார்பு ஆகும்.

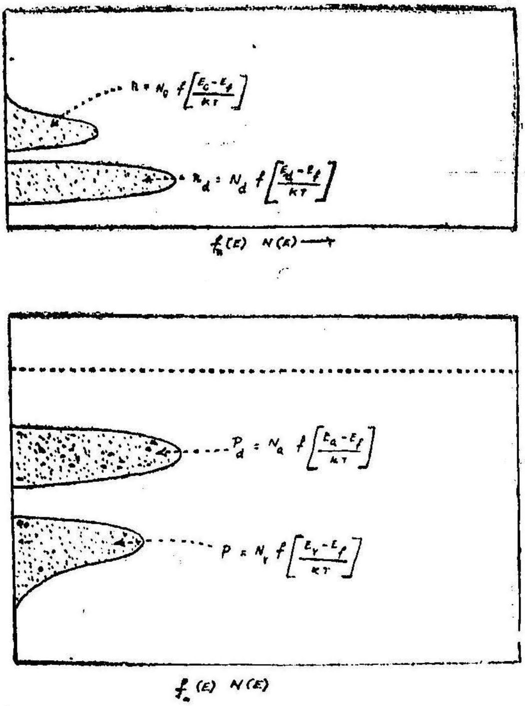
படம் 5·4-ல் ஓரலகு பருமனுக்கும் ஓரலகு ஆற்றலுக்குமுள்ள எலக்ட்ரான்கள், துளைகள் ஆகியவற்றின் அடர்த்தியையும் அவற்றின் வாய்பாடுகளையும் காண்பிக்கின்றன.

இதேபோன்று துளைகளின் எண்ணிக்கையை,

$$P_t = P + P_a = \int_{E_3}^{E_4} f_p\text{-}N(E)dE \qquad \ldots 5\cdot 10$$

எனக் கணக்கிட்டுக் காட்டலாம். E_3-யிலிருந்து E_4-வரையுள்ள ஆற்றல் நெடுக்கம் இணைதிறப் பிணைப்புப் பட்டையையும் ஏற்பி அணு மட்டத்தையும் உள்ளடக்கியது.

f_p — $(l—f)$ என்பது E-ஆற்றல் கொண்ட குவான்டம் நிலை காலியாக இருக்கும் (இது இடம்பெறும்) நிகழ்வாய்ப்பைத் தருகிறது.



படம் 5.4

ஓரலகு பருமனுக்கும் ஓரலகு ஆற்றலுக்கும் எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும்

ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை T-ல் n_t-யும் P_t-யும் E_f-ஐச் சார்ந்த சார்புகளே ஆகும். (சமன்பாடு 9, 10-ஐப் பார்க்கவும்). எனவே,

$$n_t - p_t = N_d = N_a \qquad ...5{\cdot}11$$

இவற்றை எளிதாகக் கணக்கிடலாம்.

இங்கு, மேலும் n_t-யும் n_p-யும் பொதுவாக எவ்வாறு மாறுபடு கின்றன என்பதனையும், இறுதியில் எவ்வாறு புள்ளித் தொகை முடிவைத் தருகிறது என்பதனையும் காண்போம்.

n_t-ன் மதிப்பைக் காணும்போது (சமன்பாடு 9.) தொகுப்புக் கொடையணு மட்டம் N_d-க்கு மேலேயே செல்லுகிறது. இவை யெல்லாம் E_d-என்ற ஆற்றல் மட்டத்தில் இருக்கும்படி அமை கின்றன. இந்த E_d-க்கு fன் மதிப்பு $f\left[\frac{E_d - E_f}{KT}\right]$ ஆகும். எனவே, கொடையணு மட்டத்தில் உள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை,

$$n_d = N_d \; f \left[\frac{E_d - E_f}{KT}\right] \text{ ஆகும்.} \qquad \ldots 5 \cdot 12$$

கடத்துப் பட்டையிலுள்ள நிலைகளில் உள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை $N(E)$ கடத்துப் பட்டையின் கீழ்வரம்புவரை தொகுனியாக்கப்படுகிறது. E_f கடத்துப் பட்டையின் அடிப் பகுதிக்கு மிகவும் கீழேதான் இருக்கும். எனவே,

$$n = e^{\frac{E_f}{KT}} \int_{E_c}^{E_2} N(E) \cdot e^{-E/KT} \cdot \quad dE \qquad \ldots 5 \cdot 13$$

E-ன் மதிப்பு KT அளவு உயரும்போது இதன் மதிப்பு e^{-1} அளவு குறைகிறது. இதனால், தோராயமாக $E - E_c = KT$ ஆகவுள்ள ஆற்றல் பரப்பின் உட்பகுதி வரம்புவரை தொகுனி யாக்கலாம். $E - E_c = KT$ இது $P^2/2m$-க்குச் சமம். KT-ன் மதிப்பு ஆற்றல் பட்டையின் அகலத்துடன் ஒப்பிடும்போது மிகச் சிறியதாக இருப்பதால்,

$$E = E_c + KT$$

$$= E_c + P^2/2m$$ என்று எடுத்துக்கொண்டு அதைப் பயன்படுத்தலாம். இங்கு ஆற்றல் பரப்பு $\frac{4\pi}{3} p_3$ பருமனையுடைய கோளமாகும் இங்கு $p_2/2m = E - E_c = KT$ ஆகும். இந்தக் கோளம் $\left(\frac{2}{h^3}\right)\left(\frac{4\pi}{3}p^3\right) = \frac{8\pi p^3}{3h^3}$ எண்ணிக்கையுள்ள குவான்டம்

நிலைகளை (ஓரலகு படிகப் பருமனுக்கு) உள்ளடக்கியுள்ளது. இந்தப் பருமனில் $e^{-E/KT}$ தோராயமாக $e^{-E_c/KT}$ —க்குச் சமமாக உள்ளதால் இந்தத் தொகுனியாக்கலை,

$$e^{-E_c/KT} \frac{8\pi p^3}{3h^3}$$ — க்குக் சமமாகக் கொள்ளலாம்.

$P = (2m\ KT)^{\frac{1}{2}}$ என எடுத்துக்கொண்டால்,

$$n \simeq e^{-\left[\frac{E_c - E_f}{KT}\right]} \cdot \left(\frac{8\pi}{3}\right) \left(\frac{2mKT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}}$$

$$n = e^{-\left(\frac{E_c - E_f}{KT}\right)} \cdot 2\left(\frac{2\pi mKT}{h^2}\right)^{3/2}$$

$$n = N_c \cdot e^{-\left(\frac{E_c - E_f}{KT}\right)} \qquad \ldots\ 5\cdot 14$$

எனக் காட்டலாம். இதையும் சமன்பாடு 5·12-ஐயும் ஒப்பிட்டுப் பார்த்தால் E_c-ஆற்றலில் குவிக்கப்பட்ட நிலைகளின் கூட்டம் போல் கடத்துப் பட்டை செயல்படுவதாக எண்ணத்தோன்று கிறது. N_c-என்பது கடத்துப்பட்டையில் நிலைகளின் விளைவு அடர்த்தி (Effective density of states in conduction bands) எனக் குறிப்பிடப்படுகிறது.

இதே போன்று P, P_a-ஆகியவற்றையும் கணக்கிடலாம்.

$$P_a = N_a f_p \left[\frac{E_a - E_f}{KT}\right]$$

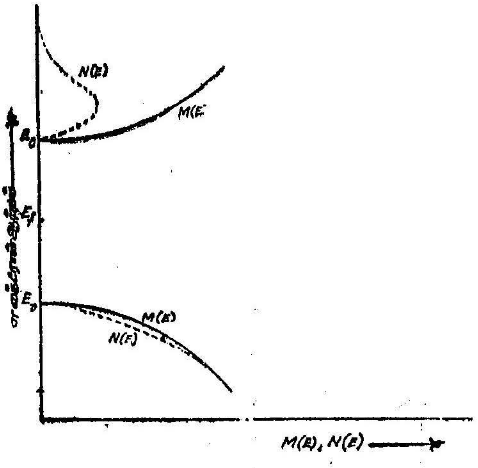
$$= N_a f \left[\frac{E_f - E_a}{KT}\right]$$

$$P = 2\ (2\ \pi\ m\ KT/h^2)^{\frac{3}{2}}\ e^{-(E_f - E_v)/KT}$$

$$P = N_v\ e^{-(E_f - E_v)/KT} \qquad \ldots\ 5\cdot 15$$

N_v-இணைதிறப் பிணைப்புப் பட்டையில் நிலைகளின் விளைவு அடர்த்தி ஆகும். எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் வெவ்வேறு விளைவுநிலைகளைக் கொண்டிருந்தால் N_c-யும் N_v-யும் சமமாக இரா.

கடத்துப் பட்டையில் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மிக அதிகமாக இருந்தால் (சோடியம், தாமிரம் போன்ற உலோகங்களில் ஓர் அணுவுக்கு ஒன்றுவீதம் இருப்பதுபோல்) ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டமானது கடத்துப் பட்டையின் அடிப்பகுதிக்கு வெகு தொலைவில் இருக்கும். சோடியம் உலோகத்தில் இத்தகைய ஆய்வுகள் பல செய்யப்பட்டன. அவற்றின்படி ஆற்றல் மட்டங்கள் அவற்றின் பெருமதிப்பான E_n-வரை கடத்துப் பட்டை



படம் 5.5
தூய குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான் பங்கீடு

யின் கீழ்வரம்பிற்கு மேலே 3.16 எலக்ட்ரான் வோல்ட் வரை கடத்து எலக்ட்ரான்கள் இடம்பெறுகின்றன என்று கணக்கிடப் பட்டிருக்கிறது. இதன்படி,

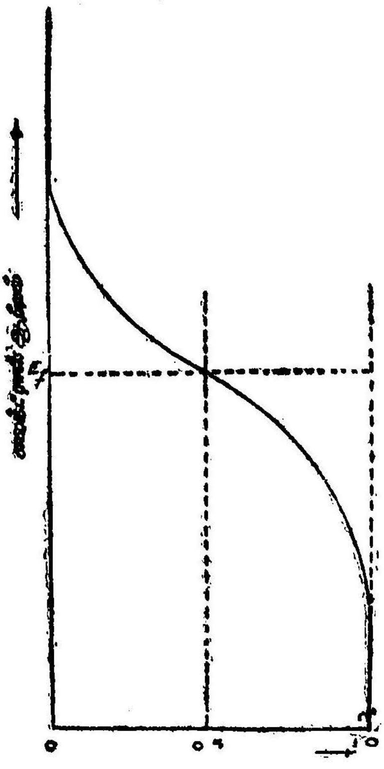
$$n = \int_{E_c}^{E_f} N(E)\, dE = \frac{8\pi}{3h^3} \cdot \quad 2m\, (E_f - E_c)^{\frac{3}{2}}$$

$$E_f - E_c = Em = h^2 \left(\frac{3n}{8\pi}\right)^{\frac{2}{3}} / 2\, m$$

$$= 21 \cdot 6 \times 10^{-16} n^{\frac{2}{3}}$$ எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆகும்.

$E_f = Em + E_0 \; m$ — என்பது தனி எலக்ட்ரான் நிறை.

வெப்பநிலை குறிப்பிடும் அளவுக்கு விளைவைத் தோற்றுவிக்காத இத்தகைய ஆற்றல் வகைகள் 'இணைப்பண்பிழந்தவை' அல்லது 'சீர்கேடுற்றவை' (Degegnerative) என்று சொல்லப்படுகிறது. இதிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் பங்கீட்டுமுறை 'சீர்கேடுற்ற எலக்ட்ரான் வாயு' (Degenerative Electron gas) என்று கூறப்படுகிறது.



படம் 5.6
தூய குறைகடத்தியில்
ஃபெர்மி-டிராக் சார்புப் பங்கீடு

படம் 5.6 ல் ஒரு தூய குறைகடத்தியில் ஃபெர்மி-டிராக் பங்கீட்டுச்சார்பு எலக்ட்ரான் ஆற்றலுடன் எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்று காட்டப்பட்டுள்ளது.

அடுத்துள்ள படம் 5·7-ல் தூசு கலக்கப்பட்ட குறைகடத்தியில் ஆற்றல் மட்டப் படமும், ஃபெர்மி-டிராக் சார்பு (f) மாறுபடும் முறையும் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் ஏற்பித்தூசு மட்டம், கொடைத்தூசு மட்டம் ஆகிய இரண்டுமே காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன.

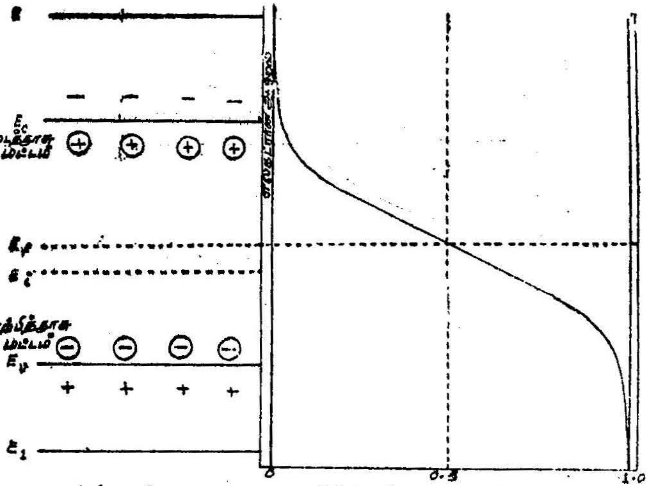
தூய குறைகடத்தியில் ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டம்

ஒரு தூய குறைகடத்தியில் $n_d = 0$ $n_a = 0$, $n = p$ ஆகும். இத்தோடு தூய குறைகடத்தியைக் குறிக்க n_i, p_i என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. அதன் அடிப்படையில் n_iக்கும்,

p_i-க்கும் சமன்பாடுகள் 5·14ஐயும் 5·15ஐயும் எழுதினால்,

$$n_i = N_c\, e^{-(E_c - E_f)/KT} = p_i \qquad \ldots 5\cdot 17$$

$$p_i = N_v\, e^{-(E_f - E_v)/KT} = n_i \qquad \ldots 5\cdot 18$$



ஆற்றல் படிமம் தூசுடைய குறை கடத்தியின் f-சார்பு படிமம்

படம் 5.7

எனவே,

$$N_c = e^{-(E_c - E_f)/KT} = N_v\, e^{-(E_f - E_v)/KT}$$

$$\frac{N_c}{N_v} = \frac{e^{-(E_f - E_v)/KT}}{e^{-(E_c - E_f)/KT}}$$

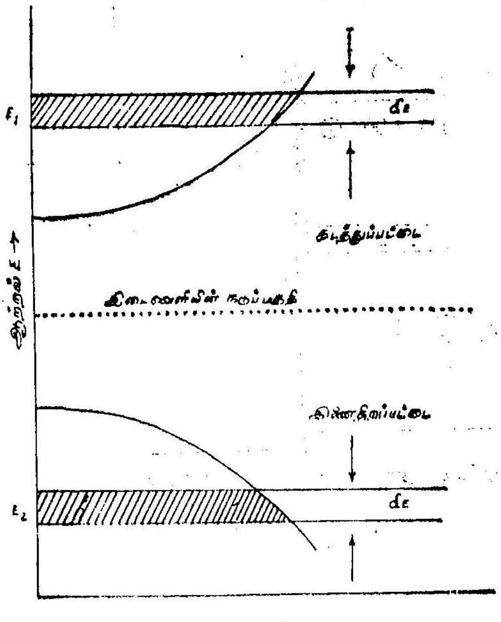
$$\log \frac{N_v}{N_c} = \frac{l}{KT}\left[2\,E_f - E_v - E_c\right]$$

$$2E_f = KT\cdot \log \frac{N_v}{N_c} + E_v + E_c$$

$$E_f = \frac{KT}{2} \log \frac{N_v}{N_c} + \frac{E_v + E_c}{2} \qquad .. 5 \cdot 19$$

$\frac{N_v}{N_c}$ —தகைவை $\frac{m_v}{m_c}$ — என எழுதலாம்.

m_v, m_c-என்பவை கடத்துப் பட்டையில் முறையே துளை, எலக்ட்ரானின் விளைவு நிறை (Effective mass)கள் ஆகும். இவை



படம் 5.8
தூய குறைகடத்தியில் கடத்துப்பட்டை, இணைதிறப் பட்டை ஆகியவற்றின் நிலைகள்

ஏறத்தாழச் சமமாய் இருக்கும். எனவே, சமன்பாடு 5·19-ஐ திருத்தி எழுதினல்,

$$E_f = \frac{E_v + E_c}{2} \qquad 5 \cdot 20$$

எனவே, இணைதிறப் பட்டைக்கும் கடத்துப் பட்டைக்குமிடையே உள்ள ஆற்றல் இடைவெளியின் நடுப்பகுதியில் ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டம் அமைகிறது.

சமன்பாடு 5·17, 5·18-லிருந்து

$$n_i^2 = p_i^2 = n_i\, p_i$$

$$= N_v \cdot N_c\, e^{(E_c\, E_v)\,/\,KT}$$

$$= N_v \cdot N_c\, e^{N_g/KT} \qquad \ldots\ 5\cdot 21$$

ஒரு குறிப்பிட்ட குறைகடத்திக்கு n_i அல்லது p_i ஒரு வெப்பநிலைச் சார்பு ஆகும். இந்த E_g-தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் இடைவெளி $(E_c - E_v)$ ஜெர்மேனியத்தில் 0·72 எலக்ட்ரான் வோல்ட், சிலிக்கானில் 1·12 எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆகும்.

$N_c = N_v = 5 \times 10^{19}$; $E_g = 0\cdot 72$ எலக்ட்ரான் வோல்ட் என்று எடுத்துக்கொண்டால், அறை வெப்பநிலையில் தூய ஜெர்மேனியத்தில் துளை, மற்றும் எலக்ட்ரான்களின் அடர்த்தியைக் கணக்கிடலாம்.

$$n_i = p_i = 2\cdot 5 \times 10^{13}/\text{செ.மீ}^3 \qquad \ldots\ 5\cdot 22$$

n-வகைக் குறைகடத்தியில் ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டம்

n-வகைத் தூசுடைய குறைகடத்தியில் கொடையணுக்களின் அடர்த்தி N_d ஏற்பியணு அடர்த்தி N_a-ஐவிட மிஞ்சி இருக்கும். N_d, N_aஐ விஞ்சியிருக்கும்போது சமன்பாடு 5·6-ல் n_a-ஐத் தள்ளி விடலாம். அத்தோடு எல்லாக் கொடையணுக்களும் அயனியாக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொண்டால் $n_d = 0$ ஆகும். அறை வெப்பநிலையில் ஜெர்மேனியத்திற்கு இந்தத் தோராயம் பொருந்தும். மேலும், அறை வெப்பநிலையில் ஜெர்மேனியத்தில் சிறிது கலப்பிருந்தாலும், கடத்துப் பட்டையிலுள்ள துளை அடர்த்தியைவிடப் பன்மடங்கு இருக்கும். எனவே, $p = 0$. சமன்பாடு 5·17-ஐ திருத்தி எழுதினால்,

$n = N_d$ என ஆகும். ...5·23

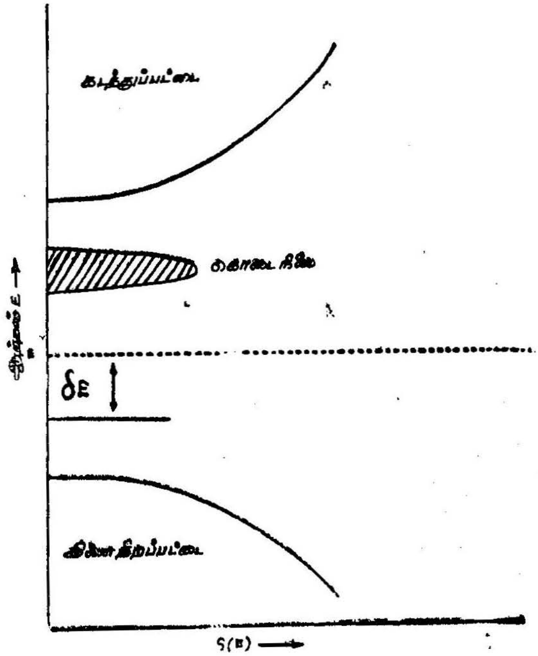
சமன்பாடு 5·14-லிருந்து,

$$N_d = N_c\, e^{-(E_c - E_f)\,/\,KT} \qquad \ldots 5\cdot 24$$

அல்லது, $$E_f = E_c - KT \log\left(\frac{N_c}{N_d}\right) \qquad \ldots 5\cdot 25$$

எனவே, ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டம் E_f, E_c க்குக் கீழே இருக்கும். எவ்வளவு கீழே இருக்கிறது என்பது வெப்பநிலையையும் கொடை அணு அடர்த்தியையும் (N_d) பொறுத்தது.

கீழேயுள்ள படம் 5·9, *n*-வகைக் குறைகடத்தியில் ஆற்றல் நிலைச்செறிவைக் காட்டுகிறது இதில் கொடைநிலை ஃபெர்மி



படம் 5.9
n-வகைக் குறைகடத்தியில் ஆற்றல்நிலைச் செறிவு

மட்டத்திற்குமேலே இருப்பது காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. ஏனென்னில், *n*-வகைக் குறைகடத்தியில் உள்ள கொடை அணுக்களின் ஆற்றல் மட்டம் ஃபெர்மி மட்டத்தைவிட மிகுதியாக இருக்கும் என்பது தெளிவு.

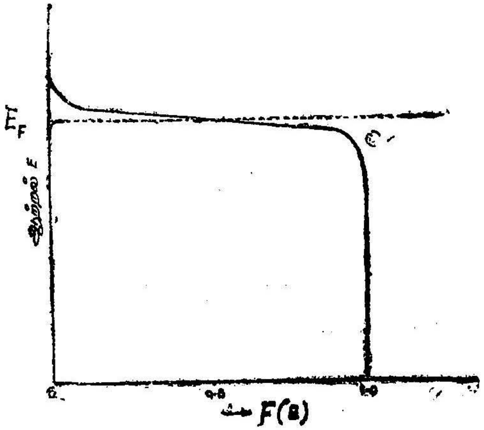
n-வகைக் குறைகடத்தியில் ஃபெர்மி-டிராக் சார்பானது எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதைப் படம் 5·10 காட்டுகிறது.

n-வகைக் குறைகடத்தியில் துளைகள் சிறுபான்மை ஊர்திக ளாகும். அவை இணைதிறப் பட்டையில் குறைந்த எண்ணிக்கையி லிருக்கும். பெரும்பான்மை ஊர்திகளான எலக்ட்ரான்கள்தாம் பெருமளவில் இருக்கும். கீழேயுள்ள படம் 5·11 இவற்றின் செறிவுகளை ஒப்பிட்டுக்காட்டுகிறது.

ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டத்தைக் கணக்கிட்டபின் அதன் மதிப்பைச் சமன்பாடு 5·15-ல் பொருத்தினால்,

$$P = \frac{N_c m_v e^{-(E_c - E_v) / KT}}{N_d} \text{ என வரும் } \quad \ldots 5{\cdot}26$$

$$= \frac{N_c N_v}{n} e^{-E_g / KT} \quad \ldots 5{\cdot}27$$



படம் 5·10
n-வகைக் குறைகடத்தியில் ஃபெர்மி சார்பு

இது n-வகைக் குறைகடத்தியில் சிறுபான்மை ஊர்திகளான துளை களின் அடர்த்தியைக் கொடுக்கிறது. மீண்டும்,

$$p.n = N_c . N_v e^{-E_g / KT} \quad \ldots 5{\cdot}28$$

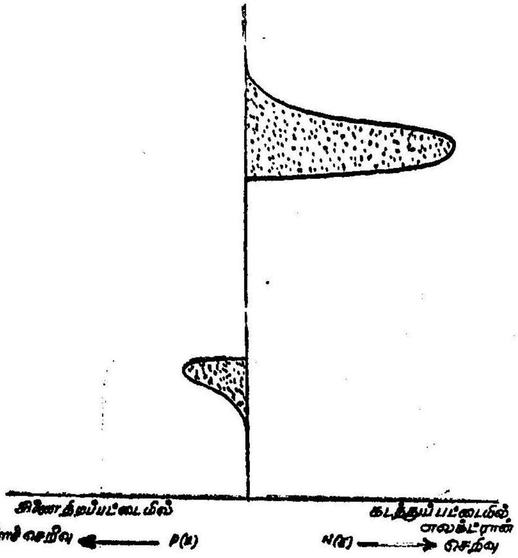
இதனைச் சமன்பாடு 5·21-உடன் ஒப்பிட்டால்,

$np = n_i^2 = p_i^2 = n_i p_i$ எனக் கிடைக்கும்.

எனவே ஒரு n-வகைக் குறைகடத்தியில் பெரும்பான்மை ஊர்தி அடர்த்தி, சிறுபான்மை ஊர்தி அடர்த்தி ஆகியவற்றின் பெருக்குத்தொகை, தூயநிலையில் ஊர்தி அடர்த்தியின் (எலக்ட்ரான் அல்லது துளை) இருமடிக்குச் சமம் எனத் தெரிகிறது.

p-வகைக் குறைகடத்தியில் ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டம்

p-வகைக் குறைகடத்தியில் ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டம் இருக்கும் இடத்தைக் கணக்கிடச் சமன்பாடு 5.6-ஐ திருத்தி



படம் 5.11
n-வகைக் குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான், துளைகளின் அடர்த்தி

யமைக்க வேண்டும். p-வகையில் ஏற்பி அணுக்களின் அடர்த்தி கொடையணுக்களின் அடர்த்தியைப் பன்மடங்கு மிஞ்சியிருக்கும். $N_a \gg N_d$. எனவே, சமன்பாடு 5·6-ல் N_d-ஐயும் n_d-ஐயும் விட்டு விடலாம்.

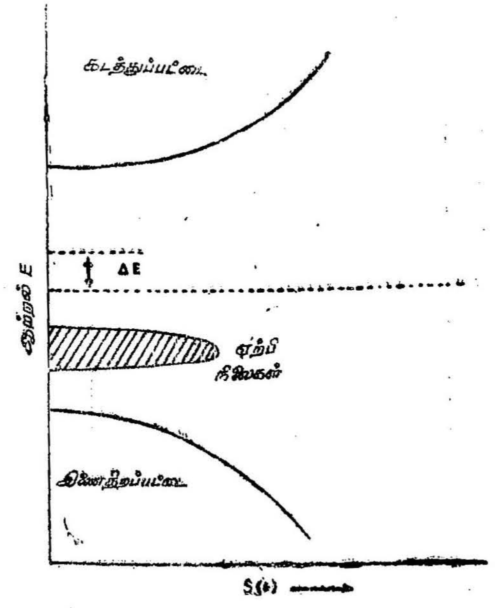
ஒவ்வோர் ஏற்பியணுவும் ஓர் எலக்ட்ரானை எடுத்துக் கொண்டு அயனி ஆகிவிட்டதாகக் கொள்ளலாம். எனவே, $n_a = N_a$ எனக் கொள்ளவேண்டும். அறை வெப்பநிலையில் ஜெர்மேனியத்திற்கு இந்தத் தோராயம் மிகப்பொருந்தும். கடத்துப் பட்டையிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் அடர்த்தி n, இணை

திறப் பட்டையிலுள்ள துளைகளின் அடர்த்தியைவிட மிகக்குறை வாயிருக்கும். $n \ll P_a$, எனவே, n-ஐயும் விட்டுவிடலாம். இவற்றைச் சமன்பாடு 5.3-ல் பொருத்த,

$$P = N_a \text{ என வரும்} \qquad \dots 5.29$$

சமன்பாடு 5.29, 5.15-லிருந்து,

$$N_a = N_v\, e^{-(E_f = E_v)/KT}$$



படம் 5.12
p-வகைக் குறைகடத்தியில் ஆற்றல் நிலைகளின் செறிவு

அல்லது,

$$E_f = E_v + KT \log\left(\frac{N_v}{N_a}\right) \qquad \dots 5.30$$

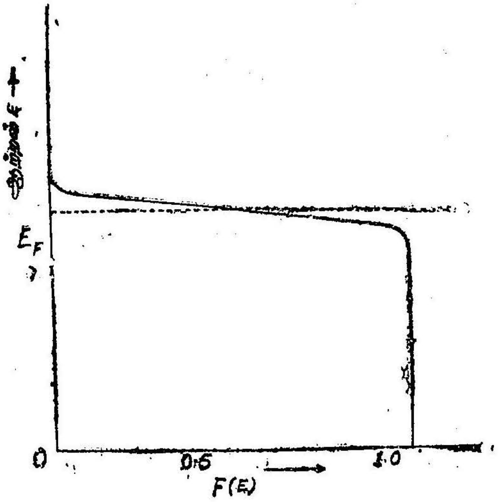
இதிலிருந்து p-வகைக் குறைகடத்தியில் ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டம் இணைதிறப் பட்டையின் மேலே இருக்கிறது எனத் தெரிகிறது. இணைதிறப் பட்டையின் உச்சியிலிருந்து எவ்வளவு மேலே இருக்கிறது என்பது வெப்பநிலை T-ஐயும், ஏற்பியணு அடர்த்தியையும் பொறுத்திருக்கும். இந்த E_f-ஐச் சமன்பாடு 5.14-ல் பொருத்தி

p-வகைக் குறைகடத்தியில் சிறுபான்மை ஊர்திகளான எலக்ட்ரான்களின் அடர்த்தியைக் காணலாம்.

$$n = \frac{N_c \; N_v \; e^{-(E_c - E_v)/KT}}{N_a} \quad \ldots 5{\cdot}31$$

$$n = \frac{N_c \cdot N_v}{P} \cdot e^{-E_g/KT}$$

$$nP = N_i \; P_i = P_i^2.$$



படம் 5.13
p-வகைக் குறைகடத்தியில் ஃபெர்மி சார்பு

எனவே, p-வகைக் குறைகடத்தியில் பெரும்பான்மை ஊர்திகளின் அடர்த்தி, சிறுபான்மை ஊர்திகளின் அடர்த்தி ஆகியவற்றின் பெருக்குத்தொகை தூயநிலையில் ஊர்தி அடர்த்தியின் இருமடிக்குச் சமமாய் இருக்கின்றது.

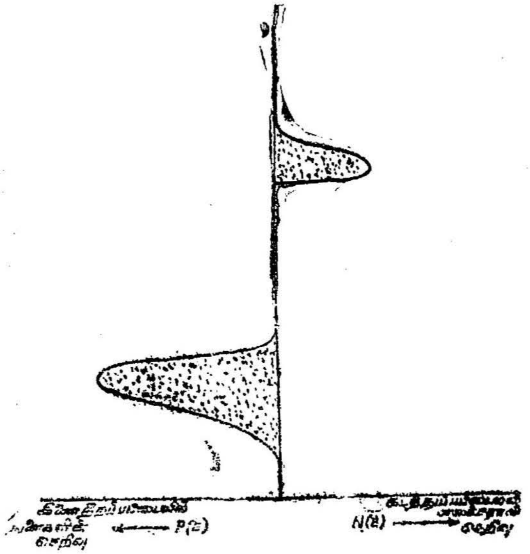
படம் 5·13 ஒரு p வகைக் குறைகடத்தியில் ஃபெர்மி டிராக் பங்கீட்டுச்சார்பு எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதைக் காட்டுகிறது.

ஒரு p வகைக் குறைகடத்தியில் துளைகள்தாம் பெரும்பான்மை ஊர்திகளாகும். இவை பெருமளவில் இணைதிறப் பட்டையி

லிருக்கும். p வகைக் குறைகடத்திகளில் சிறுபான்மை ஊர்திகளான எலக்ட்ரான்கள் குறைந்த எண்ணிக்கையில் இருக்கும். இந்தத் துளைகள், எலக்ட்ரான்கள் ஆகியவற்றின் செறிவுகளைப் படம் 5·14 ஒப்பிட்டுக் காட்டுகிறது.

வெப்பநிலையோடு ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டத்தின் மாறுபாடு

தூய குறைகடத்தியின் வெப்பநிலை உயர்த்தப்படுமானால், எலக்ட்ரான்கள், துளைகள் ஆகியவற்றின் எண்ணிக்கை மிகுதிப்படும் என்பது தெரிந்ததே. ஏனெனில், உயர் வெப்பநிலையில்

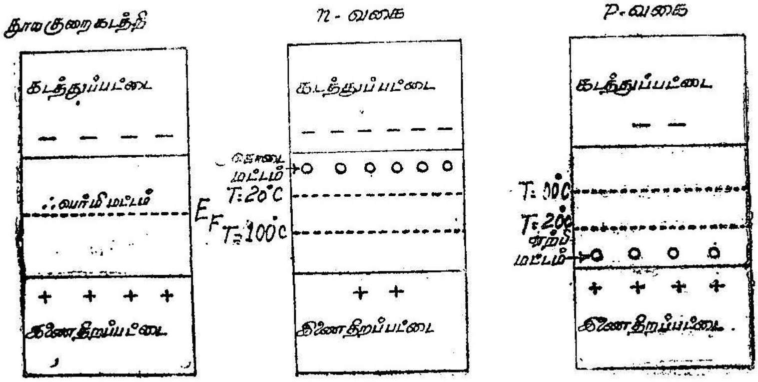


படம் 5.14
p-வகைக் குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான் துளைகளின் செறிவு

இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து எலக்ட்ரான்கள் வெளியேறிவிடும். இருந்தாலும், எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் துளைகளின் எண்ணிக்கையும் சமமாகவே இருக்கும். இதனால், வெப்பநிலை ஏதுவாக இருந்தாலும் ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டம் தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் இடைவெளியின் நடுவில் மாறாதிருக்கும்.

n வகைக் குறைகடத்தியில் கடத்துப் பட்டையிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் இருவழிகளில் வந்தவை. (i) கொடைத் தூசு அணுக்களால் கொடுக்கப்பட்டவை. இவை எளிதாக வந்திருக்கும்;

(ii) இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து வெளிவந்தவை. கொடைத் தூசு அணுக்களால் கொடுக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை வெப்பநிலை ஏற்றத்தால் மிகுந்த மாற்றம் அடைவதில்லை. குறிப்பாக, 0°C-யிலிருந்து 50°C வரையுள்ள வெப்பநிலையில் இந்த எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை குறிப்பிடத்தக்க அளவுக்கு மாற்றமடையாது. (இந்த வெப்பநிலை நெடுக்கத்தில்தான்



படம் 5.15
தூய n-வகை, p-வகைக் குறைகடத்திகளில் வெப்பநிலைகளுக்கேற்ப ஃபெர்மி மட்டத்தின் வேறுபாடு

குறைகடத்திக் கருவிகள் செயல்படுகின்றன). ஆனால், இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து வெளிவரும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை வெப்பநிலை ஏற்றத்தால் மிகுந்துவிடும். எனவே, மொத்த எண்ணிக்கையும் உயர்ந்துவிடும். ஆகவே, வெப்பநிலை உயர உயர n-வகைக் குறைகடத்தி தூய குறைகடத்திபோன்று எலக்ட்ரான் எண்ணிக்கையைப் பெறும். ஆகவே, வெப்பநிலை உயர உயர ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டமானது மெள்ள மெள்ளத் தூய குறைகடத்தியிலுள்ள ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டத்தை நோக்கி நகரும் (தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் இடைவெளியின் நடுப்புள்ளி).

pவகைக் குறைகடத்தியில் அறை வெப்பநிலையில் ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டம் தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் இடைவெளியின் நடுப் புள்ளிக்குக் கீழே அமைந்திருக்கிறது. வெப்பநிலை உயர உயர nவகை போலவே இதிலும் கடத்தி ஊர்திகளின் எண்ணிக்கை மிகுந்துவிடும். இங்கு ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டமானது தூய குறைகடத்திக்கு உள்ள ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டத்தை நோக்கி (மேல் நோக்கி) நகரும்.

எனவே, p-வகையும் n-வகையும் உயர் வெப்பநிலைகளில் ஏறத்தாழத் தூய குறைகடத்தியின் குணங்களைக்கொண்டு தூய குறைகடத்தி போலாகிவிடும். எனவேதான், குறைகடத்திக் கருவிகளை இயக்கும்போது வெப்பநிலைக்கு ஒரு வரம்பு தீர்மானிக்கப்படுகிறது.

வினாக்கள்

1. வெவ்வேறு குவான்டம் நிலைகளில் எலக்ட்ரான்கள் பங்கீடு பெறும்போது பல்வேறு ஆற்றல் நிலைகளின் எண்ணிக்கையை ஃபெர்மி-டிராக் பங்கீட்டுச்சார்பால் எவ்வாறு குறிக்கலாம் என்பதை விளக்கிக் கூறு.

2. ஒரு குறைகடத்தியில் உள்ள மிகுதி எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றலை ஃபெர்மி-டிராக் புள்ளித் தொகுப்பியல் கொண்டு எவ்வாறு கணக்கிடலாம்.

3. ஒரு தூய குறைகடத்தி, n-வகைக் குறைகடத்தி, p-வகைக் குறைகடத்தி ஆகியவற்றில் ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டத்தைக் கணக்கிட்டுக் கூறு.

4. ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டம் வெப்பநிலையோடு எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதை எடுத்துக்காட்டு.

5. ஓர் உலோகத்தின் கடத்துப் பட்டையிலுள்ள ஆற்றல் அடர்த்தி நிலைகளை, ஆற்றலின் சார்பாகக் கணக்கிட எடுத்துக் கொள்ளப்படும் அடிப்படைத் தற்கோள்கள் யாவை?

6. ஃபெர்மி எண் 0.99-லிருந்து 0.01 வரை மாறுபடும்போது KT-ன் பெருக்கல்களாக ஆற்றலின் நெடுக்கத்தைக் கணக்கிடு. 300°K வெப்பநிலையில் ஆற்றல் நெடுக்கத்தை எலக்ட்ரான் வோல்ட்டில் கணக்கிடு.

7. 0°K வெப்பநிலையில் ஓர் உலோகத்தின் கடத்துப் பட்டையிலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரானின் சராசரி ஆற்றலை ஃபெர்மி மட்டத்தின் சார்பில் கணக்கிடுக.

8. திடப் படிகப்பொருள்கள், வாயுக்கள் இவற்றின் மின் குணங்களைக் கண்டு கணக்கிட்டறிய வெவ்வேறு புள்ளியியல் கணக்கீடுகள் (திடப்பொருளுக்கு ஃபெர்மி-டிராக், வாயுக்களுக்கு போல்ட்ஸ்மென்-மாக்ஸ்வெல்) ஏன் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. திடப் படிகப்பொருள்களுக்கும், வாயுக்

களுக்கும் இடையேயுள்ள மிக முக்கியத்துவம் வாய்ந்த வேறுபாடுகள் யாவை?

9. அறை வெப்பநிலையில் ஒரு n-வகை ஜெர்மேனியப் படிகத்தில் ஃபெர்மி மட்டமானது கடத்துப் பட்டையின் அடிமட்டத் திற்குக் கீழ் 0.20 எலக்ட்ரான் வோல்ட் தொலைவிலுள்ளது. தூய ஜெர்மேனியப் படிகத்தின் ஆற்றல் இடைவெளி 0.72 எலக்ட்ரான் வோல்டானால், கொடை அணுச் செறிவைக் கணக்கிடு.

10. அறை வெப்ப நிலையில் ஒரு p-வகை ஜெர்மேனியப் படிகத்தில் ஃபெர்மி மட்டமானது இணைதிறப் பட்டையின்மேல் ஓரத்திற்குமேலே 0·25 ev உயரத்தில் உள்ளது. படிகத்தின் கடத்துதிறனைக் காண்க.

11. ஓர் ஓம்-செ.மீ மின்தடைகொண்ட n-வகை ஜெர்மேனியப் படிகத்தில் அறை வெப்பநிலையில் எலக்ட்ரான், மின்துளை ஆகியவற்றின் அடர்த்தியையும், ஃபெர்மி மட்டப் பெயர்ச்சி யையும் கணக்கிடு.

12. இதே கணக்கீட்டை 0·5 ஓம்-செ.மீ. மின்தடை கொண்ட p-வகை ஜெர்மேனியப் படிகத்திற்குச் செய்க-$\mu_n = 3900$ $\mu_p = 1900$செ.மீ^{2}/வோல்ட்/விநாடி. $ni = 2 \cdot 5 \times 10^{13}$.

13. பிளாங்க் பங்கீட்டு முறையைப் பின்பற்றி இரண்டு சிற்றுலைவு கள் (perturbations) δE_2, $\delta E_2'$ ஆகியவற்றைக் கொண்டு ஃபெர்மி-டிராக் பங்கீட்டு விதியைத் தருவிக்கவும்.

14. ஃபெர்மி சார்பானது ஃபெர்மி மட்டத்தைச் சுற்றி சமச்சீராக உள்ளது என்று காட்டு. அதாவது $F(E—E_f)$ $= I—F\ (E_f - E)$ எனக் காட்டு.

15. அறை வெப்பநிலையில் 2 ஓம்-செ.மீ. மின்தடை எண் கொண்ட ஜெர்மேனியக் குறைகடத்தியில் ஃபெர்மி மட்டத் தின் நிலையைக் கணக்கிடு [$n = N_D - N_A$ எனக் கொள்ள வேண்டும்].

6. குறைகடத்தி டையோடுகளும் டிரான்சிஸ்டர்களும்

குறைகடத்திக் கருவிகளின் வகைகள்

எலக்ட்ரானியல் சாதனங்களில் பயன்படுத்தப்படும் பல்வேறு குறைகடத்திக் கருவிகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு வகைப்படுத்திக் கூறலாம் :

1. குறைகடத்தி டையோடு (Semi-conductor diode)
   - (a) வளர்க்கப்பட்ட சந்தி டையோடுகள்.
   - (b) உருகி ஒட்டிய சந்தி டையோடுகள்.
   - (c) புள்ளித் தொடு டையோடுகள்.

2. டிரான்சிஸ்டர்கள் (Transistors)
   - (a) வளர்க்கப்பட்ட சந்தி டிரான்சிஸ்டர்கள்.
   - (b) உருகி ஒட்டிய சந்தி டிரான்சிஸ்டர்கள்.
   - (c) புள்ளித் தொடு டிரான்சிஸ்டர்கள்.

ஒரு குறைகடத்தி டையோடின் குணங்கள் ஒரு டையோடு வால்வின் குணங்களோடு ஒத்திருக்கின்றன. இதில் முதன்மையான குணம் ஒரே திசையில் மின்கடத்தல் நடைபெறுவதாகும். குறைகடத்தி டையோடு வெற்றிட வால்வுபோலவே மின்னோட்டத்தை ஒரே திசையில்தான் கடத்தும். அதாவது, ஒரே திசையில்தான் மின்னோட்டம் ஓடுவதற்கு அனுமதிக்கும். எனவே, இவை கீழ்க்கண்டவற்றிற்கு மிகவும் பயனுள்ளதாக இருக்கின்றன.

1. அலைதிருத்தியாக (Rectifier)
2. பகுப்பானாக (Detector)
3. கலப்பானாக (Mixer)

ஒரு வெற்றிட வால்வு டையோடோடு ஒப்பிடப்படும்போது ஒரு குறைகடத்தி டையோடு பல அனுகூலங்களைப் பெற்றிருக்கின்றன. அவையாவன:

1. கேதோடை வெப்பப்படுத்தும் ஆற்றல் தேவையில்லை.
2. கேதோடை வெப்பப்படுத்தும் நேரம் காத்திருக்க வேண்டியதில்லை.
3. ஏறத்தாழப் பழுதடைவதே யில்லை.
4. நீண்ட நாள்களுக்குச் செயற்படும்.
5. மிகக் குறைந்த ஆற்றலை எடுத்துக்கொண்டு செயலாற்றுகிறது.
6. மிகமிகச் சிறிய உருவமும் வடிவமும் உடையது; எனவே, பயன்படுத்த எளிதானது.
7. வால்வுகளைப்போல் 'ஹம்' ஒலியோ, மற்ற இடையூறு ஒலிகளோ கேட்பதில்லை.

குறைகடத்தி டையோடுகள் சந்தி வகையாகவோ, தொடு புள்ளி வகையாகவோ இருக்கலாம். சந்திவகையில் மேலும் இரண்டு உள்வகைகள் உள்ளன:

1. வளர்க்கப்பட்ட சந்தி டையோடுகள்.
2. உருகி ஒட்டிய சந்தி டையோடுகள்.

இவை தயாரிக்கப்படும் முறையைக்கொண்டு இவ்வாறு வகைப்படுத்தப்படுகின்றன.

டிரான்சிஸ்டர்களும் ஒருவகைக் குறைகடத்திக் கருவிகளே. இவை வெற்றிட டிரையோடு வால்வுக்குச் சமமானவை. இவற்றை முக்கியமாகப் பெருக்கிகளாகப் பயன்படுத்துகிறோம். டிரான்சிஸ்டர்கள் கூட,

1. சந்தி டிரான்சிஸ்டர்கள்,
2. தொடுபுள்ளி டிரான்சிஸ்டர்கள்

என இருவகைப் படுத்தப்பட்டுள்ளன. தயாரிக்கப்படும் முறையை ஒட்டிச் சந்தி டிரான்சிஸ்டர்கள்,

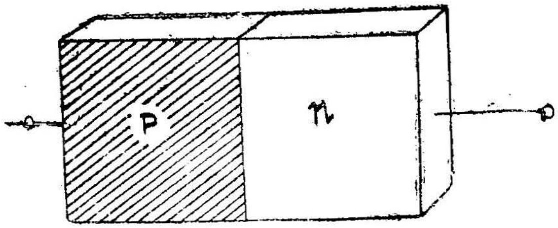
1. வளர்க்கப்பட்ட சந்தி டிரான்சிஸ்டர்கள்,
2. உருகி ஒட்டிய சந்தி டிரான்சிஸ்டர்கள்

என்று மேலும் வகைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன.

குறைகடத்திச் சந்தி டையோடு

ஒரு சந்தி டையோடில் ஒரு *n*-வகைக் குறைகடத்தியும், ஒரு *p*-வகைக் குறைகடத்தியும் ஒரு சந்தியில் இணையுமாறு பொருத்தப்பட்டுள்ளன. இவற்றைத் தோற்றுவிக்கப் பல்வேறு தயாரிப்பு முறைகள் உள்ளன. இருந்தாலும், இவற்றில் இரண்டு முறைகளில்தாம் முக்கியமாகக் குறைகடத்திச் சந்திப்பு டையோடுகள் தயாரிக்கப்படுகின்றன. அவை வளர்க்கப்பட்ட சந்தி டையோடுகள், மற்றும் உருகி ஒட்டிய டையோடுகளாகும். படம் 6.1-ல் ஒரு *p-n* சந்தி டையோடு காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இத்தகைய டையோடுகள் கீழ்க்கண்டவாறு தயாரிக்கப்படுகின்றன;

முதலில் உருகிய குழம்பிலிருந்து *n*-வகைப் படிகம் வளரவிடப்பட்டுத் தயாரிக்கப்படுகிறது. பிறகு *p*-வகைத் தூசு அணு



படம் 6.1
வளர்க்கப்பட்ட *p-n* சந்தி

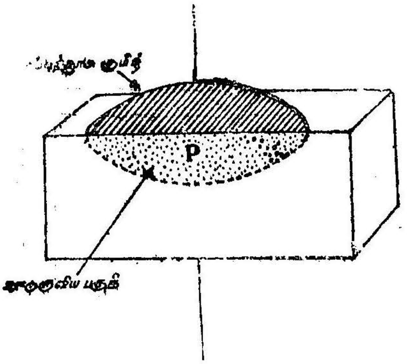
மிகுந்த அளவில் உருகிய குழம்பிற்குச் சேர்க்கப்படுகிறது. இதனால், இதற்குப்பிறகு வளரும் படிகம் *p*-வகையாக இருக்கும். இவ்வாறு ஒரு தொடர்படிகம் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இதன் ஒரு பகுதி *n*-வகையாகவும், மறுபகுதி *p*-வகையாகவும் இருக்கும். இரண்டுக்கும் இடையே சந்திப்புத் தளம் இருக்கும். *p*-வகை, *n*-வகைப் பகுதிகளில் இணைப்புக் கம்பிகள் பொருத்தப்படுகின்றன.

படம் 6.2-ல் ஓர் உருகி ஒட்டிய சந்தி டையோடு காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் *n*-வகை ஜெர்மேனியத்தின் ஒரு மெல்லிய பாளம் (wafer) உள்ளது. இதன்மீது இண்டியம் ஒரு புள்ளியாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. இது தகுந்த உயர் வெப்பநிலைக்கு உயர்த்தப்பட்டுச் சில மணித்துளிகள் அதே வெப்பநிலையில் வைக்கப்படுகிறது. இண்டியம் தனிமம் உருகி ஒட்டிய ஜெர்மேனியத்தின் பரப்பின்மேல் ஒட்டிக்கொள்கிறது. இதனால், அந்தப் பகுதியில் *p*-வகை ஜெர்மேனியம் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இந்த

p-வகை ஜெர்மேனியமும், ஜெர்மேனிய *n*-வகைப் பாளமும் ஒரு *p-n* சந்திப்பைத் தோற்றுவிக்கிறது.

சந்தி டிரையோடு டிரான்சிஸ்டர்

ஒரு சந்தி டிரையோடு டிரான்சிஸ்டர் என்பது ஒரு டிரையோடு வெற்றிட வால்வை ஒத்த ஒரு குறைகடத்திக் கருவியாகும். சந்தி டையோடைத் தயாரிக்கக் கையாளப்பட்ட அதே வழியிலேயே இந்தச் சந்தி டிரான்சிஸ்டரும் தயாரிக்கப்படுகிறது. எனவே, சந்தி டிரான்சிஸ்டரும், 'வளர்க்கப்பட்ட சந்தி டிரான்சிஸ்டர்' அல்லது 'உருகி ஒட்டிய சந்தி டிரான்சிஸ்டர்' என வகைப்படுத்தப்படுகிறது. படம் 6.3-ல் ஒரு சந்தி



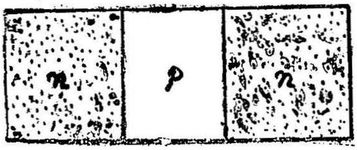
படம் 6.2
ஓர் ஊடுருவிய (உருகி ஒட்டிய) P-N சந்தி

டிரான்சிஸ்டர் காண்பிக்கப்பட்டிக்கிறது. இது வளர்க்கப்பட்ட சந்தி டிரான்சிஸ்டர் வகையாகும். உருகி ஒட்டிய குறைகடத்தியிலிருந்து ஒரு தனிப் படிகம் வளர்க்கப்பட்டு உருவாக்கப்படுகிறது. இதில் ஏற்கெனவே *n*-வகைத் தூசு கலக்கப்பட்டிருப்பதால் இது ஒரு *n*-வகை ஜெர்மேனியப் படிகமாக இருக்கும்.

பிறகு, படிகம் சிறிது வளர்ந்தபின் மற்றவகைத் தூசு—*p*-வகைத் தூசு அணு போதுமான அளவு உருகிய ஜெர்மேனியத்திற்குச் சேர்க்கப்படுகிறது. இப்போது இது எடுத்துக்கொண்டு வளரும் படிகத்தின் பகுதி *p*-வகையாக இருக்கும். அடுத்து, இந்த *p*-வகைப் படிகப்பகுதி தேவையான அளவு வளர்ந்தபின் *n*-வகைத் தூசு அணு மிகுந்த அளவில் கலக்கப்படுகிறது. இதனால், இதைத் தொடர்ந்து வளரும் படிகப்பகுதி *n*-வகையாக இருக்கும்.

முழுவதும் வளர்ந்த படிகம் இருபக்கங்களிலும் n-வகையையும் இடையே ஒரு p-வகைக் குறைகடத்தி அடுக்கும் கொண்டதாக இருக்கும். இத்தகைய டிரான்சிஸ்டர் ஒரு n-p-n டிரான்சிஸ்டர் எனப்படும். இதேபோன்று இருபக்கங்களிலும் p -வகைக் குறை கடத்திகளுடன் இடையே n வகைக் குறைகடத்திப் பாளம் இருக்குமாறு ஒரு டிரான்சிஸ்டரைத் தயாரிக்கமுடியும். இது ஒரு p-n-p டிரான்சிஸ்டர் எனப்படும்.

ஒரு டிரையோடு டிரான்சிஸ்டரில் உள்ள மெல்லிய நடுப்பகுதி 'அடித்தளம்' (base) எனப்படும். இருபக்கமுமுள்ள இரு முனைப் பகுதிகள் 'வெளிவிடும் வாய்' (Emitter) என்றும், 'ஏற்பு வாய்' (Collector) என்றும் கூறப்படும். படம் 6.4-ல் ஒரு வளர்க்கப்பட்ட சந்தி டிரான்சிஸ்டர் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் அடித்தளத் திற்கும் ஏற்புவாய்க்குமிடையே ஒரு சந்திப்பும், அடித்தளத்திற்

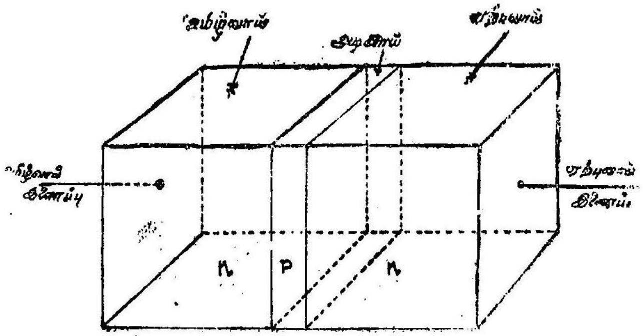


படம் 6.3
N-P-N சந்தி டிரான்சிஸ்டர்

கும் வெளிவிடுவாய்க்குமிடையே ஒரு சந்திப்புமாக இரு சந்திப்பு கள் உள்ளன. டிரான்சிஸ்டர் மிக நல்லமுறையில் செயற்பட இந்த இரண்டு சந்திப்புகளும் நெருக்கமாக இருப்பது நல்லது. எனவே, தயாரிக்கப்படும்போது அடித்தளப் பகுதி மிக மெல்லிய தாக இருக்கும்படி செய்யப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு வளர்க்கப்பட்ட சந்தி டிரான்சிஸ்டரின் குறுக்குப்பரப்பு ஏறத்தாழ 0·25 ச.செ.மீ. ஆக இருக்கும். அடித்தளத்தின் தடிமன் 0.1 மி.மீ. ஆகும்.

உருகி ஒட்டிய டையோடுகள் தயாரிக்கப்படும் வழியிலேயே உருகி ஒட்டிய சந்தி டிரான்சிஸ்டர்களும் தயாரிக்கப்படுகின்றன. ஒரு மெல்லிய n-வகை ஜெர்மேனியப் பாளத்தின் இரு பக்கங் களிலும் இண்டியம் ஒரு புள்ளியாக வைக்கப்படுகிறது. பிறகு இது உயர் வெப்பநிலைக்கு உயர்த்தப்பட்டு அந்த வெப்பநிலையில் சில மணித்துளிகள் வைக்கப்படுகிறது. இண்டியம் புள்ளிகள்

உருகி இளகி அந்தப் பகுதியிலுள்ள ஜெர்மேனியத்துடன் கலந்து *p*வகைக் குறைகடத்தியைத் தோற்றுவித்துவிடும். இப்போது இண்டியம் கலந்த *p*வகைக் குறைகடத்தியை இரு பக்கங்களிலும் கொண்டு, நடுவில் *n*வகை ஜெர்மேனியப் பாளம் இருக்கும். இது ஒரு *p-n-p* வகைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டர் ஆகும். *n*-வகை ஜெர்மேனியப் பாளம் அடித்தளமாகவும், *p*-வகை ஜெர்மேனியப் பகுதிகள் (இரு பக்கங்களிலும் உள்ளவை) ஏற்புவாயாகவும், வெளிவிடுவாயாகவும் செயற்படும். இங்கு மறுபடியும் டிரான் சிஸ்டர் நல்லமுறையில் செயற்பட, அடித்தளப்பகுதி மெல்லியதாக



படம் 6.4
சந்தி டிரான்சிஸ்டர்

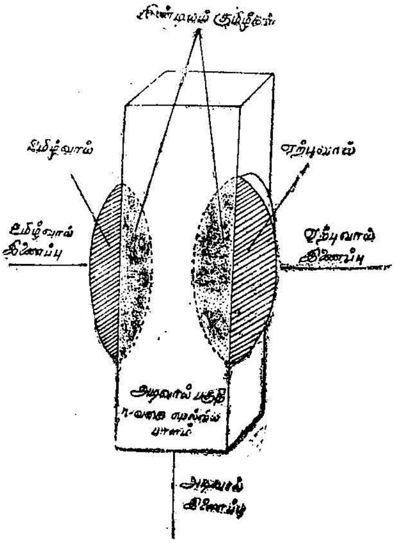
இருக்கவேண்டும். அதாவது, ஜெர்மேனியப் பாளம் மெல்லியதாக இருக்கவேண்டும். பொதுவாக, ஏற்புவாயைத் தோற்றுவிக்கும் இண்டியம் பெரிய அளவிலும், வெளிவிடுவாயைத் தோற்று விக்கும் இண்டியம் குறைந்த அளவிலும் இருக்கும்படி வைக்கப் படுகிறது.

வளர்க்கப்பட்ட சந்திமுறையில் தயாரிக்கப்பட்ட டிரான் சிஸ்டருக்கும் உருகி ஒட்டிய முறையில் தயாரிக்கப்பட்ட டிரான் சிஸ்டருக்கும் பண்புகளில் மிகக் குறைந்த வேறுபாடுகள் இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக, உருகி ஒட்டிய டிரான்சிஸ்டரின் ஏற்புவாய்ப் பகுதி, அடித்தளப்பகுதியைவிடக் கடத்துதிறன் மிக்கதாய் இருக்கும். வளர்க்கப்பட்ட சந்தி டிரான்சிஸ்டரில் ஏற்புவாய்ப் பகுதி, அடித்தளப்பகுதியைவிடக் கடத்துதிறன் குறைவாய் இருக்கும். இந்த வேறுபாட்டால் ஓர் உருகி ஒட்டிய சந்தி டிரான்சிஸ்டரின் ஏற்புவாய் மின் தேக்குதிறன் (collector

capacltance) மற்றவகை டிரான்சிஸ்டரைவிட மிகுதியாக இருக்கும்.

வளர்க்கப்பட்ட சந்தி டையோடுகளும் டிரான்சிஸ்டர்களும் தயாரிக்கப்படும் முறை

வளர்க்கப்பட்ட சந்தி டையோடு அல்லது டிரான்சிஸ்டர் தயாரிக்க ஒரு படிகம் வளர் உலை பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதில் ஜெர்மேனியம் உருகியநிலையில் இருக்கும். இதைத் தொட்டுக் கொண்டு ஓர் ஒற்றைப் படிகம் வைக்கப்பட்டிருக்கும். படிகம் வளர வளர இது மெதுவாக மேலே இழுக்கப்படும். இந்த முறை பொதுவாக *n-p-n* டிரான்சிஸ்டர் தயாரிக்கப் பயன்படுத்தப்



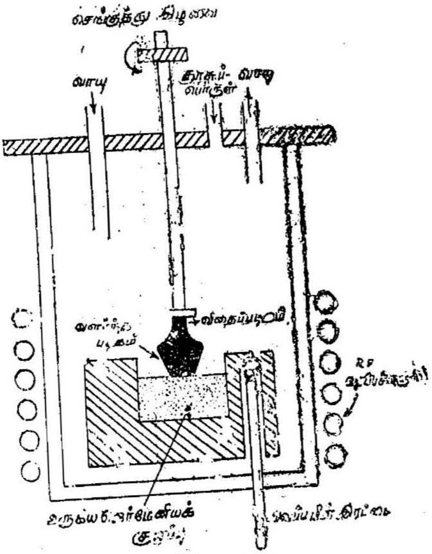
படம் 6.5
உருகி ஒட்டிய சந்தி டிரான்சிஸ்டர்

படுகிறது. இதற்கான சாதனத்தின் படம் 6.6-ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது.

இதன் கீழ்ப்பகுதியில் ஓர் உலை உள்ளது. இதில் ஒரு ரேடியோ அதிர்வெண் வெப்பச்சுருளால் வெப்பம் தோற்றுவிக்கப்படும். இந்தச் சுருளுக்குள் வைக்கப்பட்டுள்ள வெப்ப மின் இரட்டை (Thermo couple) உலையின் வெப்பநிலையைக் காட்டும். எனவே, உலையின் வெப்பநிலையை மிகத்துல்லியமாகக் கட்டுப்படுத்தலாம்.

மண்டல மாசகற்றுமுறையில் (Zone refining method) மாசகற்றப்பட்ட பல்படிகக் குறைகடத்திப் பொருள் பெறப்படுகிறது. அதிலிருந்துதான் ஒரு பெரிய ஒற்றைப்படிகம் பெறப்படுகிறது. மாசகற்றப்பட்ட குறைகடத்திப் பொருள் அறைப்பகுதியில் வைக்கப்பட்டுச் சூடேற்றப்படுகிறது. இந்த அறையில் நைட்ரஜனும், ஹைட்ரஜனும் பரவி இருக்கும்படி செய்யப்படுகிறது. இது ஆக்ஸிஜனை இல்லாது தடுத்துவிடுவதற்கே ஆகும்.

ஒரு நீண்ட உலோகத்தண்டின் அடிப்பகுதியில் விதைப்படிகம் (seed crystal) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இந்த உலோகத்



படம் 6.6
படிகம் வளரும் உலை

தண்டை மெதுவாக மேலே இழுக்கவோ அல்லது சுழற்றவோ முடியும். விதைப்படிகம் தொடக்கத்தில் உருகிய குறைகடத்திப் பொருளைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும். பிறகு, படிகம் மெல்ல மெல்ல வளரத் தொடங்கும். படிகம் வளர வளர மெதுவாக விதைப்படிகம் மேலே இழுக்கப்படுகிறது. இதே நேரத்தில் நீள் தண்டு மெதுவாகச் சுழற்றப்படுகிறது. இதனால் வளரும் படிகம் சமச்சீருடையதாய் இருக்கும். இவ்வாறு வளரும் படிகம் தொடர்ந்து மெதுவாக மேல்நோக்கி இழுக்கப்பட்டால் ஒரு பெரிய உருகிய குறைகடத்தியின் ஒற்றைப்படிகம் கிடைக்கும்.

ஒரு சந்தி டையோடோ அல்லது சந்தி டிரான்சிஸ்டரோ வளர்க்கப்படவேண்டுமேயானுல் உருகிய குழம்பிலுள்ள தூய அணுக்களின் வகையும் அளவும் தேவைக்குகந்தபடி மாற்றப்பட வேண்டும். ஒரு *n-p-n* ஜெர்மேனிய டிரான்சிஸ்டர் தயாரிக்க, முதலில் சிறிது *n*-வகைத் தூசு உருகிய ஜெர்மேனியத்திற்குக் கலக்கப்படுகிறது. பிறகு நீள்தண்டு தாழ்வாகத் தேவையான அளவு இறக்கப்பட்டு விதைப்படிகம் உருகிய ஜெர்மேனியத்தில் மூழ்கித் தொடுமாறு செய்யப்படுகிறது. இதன்பின் படிகம் முன்பு விளக்கியபடி வளரவிடப்படுகிறது. வளரும் படிகம் *n*-வகையாக இருக்கும். இதுதான் பின்பு *n-p-n* டிரான்சிஸ்டரின் ஏற்புவாயாக அமையும். இந்த *n*-வகை மிகுந்த மின்தடையுடையதா யிருக்கும். ஏனெனில், இதில் கொடைத் தூசு அணுக்களின் செறிவு மறைந்திருக்கிறது.

இதற்குப் பிறகு—படிகம் ஓரளவு வளர்ந்தபின்—*p*-வகைத் தூசு மிகுதியாக உருகிய ஜெர்மேனியத்துடன் கலக்கப்படுகிறது. கலக்கப்படும் *p*-வகைத் தூசு உருகிய குழம்பில் ஏற்கெனவே இருக்கும் *n*-வகைத் தூசை விஞ்சும் அளவில் இருக்கவேண்டும். இப்போது மேல்நோக்கி இழுக்கப்படுவது தொடர்ந்துகொண்டே இருக்கவேண்டும். இதன் விளைவு, வளரும் படிகத்தின் அடுத்த பகுதி மின்தடைமிக்க *p*-வகையாக இருக்கும். இந்த *p*-வகைப் பகுதி *n-p-n* டிரான்சிஸ்டரின் அடித்தளமாக அமையும். இது மிக மெல்லியதாக இருக்கும்படி பார்த்துக்கொள்ள வேண்டும். எனவே, படிகம் இப்போது குறைந்த தொலைவிற்கே மேல்நோக்கி இழுக்கப்படுகிறது. அதன்பிறகு *n*-வகைத் தூசு மிகுந்த அளவு உருகிய குழம்பில் கலக்கப்படுகிறது. மீண்டும், உருகிய ஜெர்மேனியக்குழம்பு *n*-வகையாக மாறிவிடும். இதனின்றும் வளரும் படிகம் மீண்டும் *n*-வகையாகவே இருக்கும்; ஆனுல், இது குறைந்த மின்தடையுடையதாய் இருக்கும். இந்தப் பகுதிதான் *n-p-n* டிரான்சிஸ்டரில் வெளிப்படுத்தும் வாயாக (Emitter) அமையும்.

n-p-n வகைத் தூசுகளை, அடுத்தடுத்து வரிசையாக உருகிய ஜெர்மேனியக் குழம்பிற்குக் கலக்கப்படுவதற்குப் பதிலாக வேறொரு முறையிலும் இதைச் செய்யலாம். உருகிய குழம்பிலிருந்து விதைப்படிகம் மேல்நோக்கி இழுக்கப்படும் வேக வீதம் திடீரென்று மாற்றப்பட்டால் நமக்குத் தேவையான வளர்க்கப்பட்ட இரண்டு சந்திப்புகளும் கிடைத்துவிடும். இதனுல் *n*-வகை, *p*-வகைத் தூசுகள் படிகமாகும் விகிதம் வேருக இருக்குமாதலால் இத்தகைய சந்திப்புகள் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. அதாவது, படிகம் வளரும் வீதத்தைப் பொறுத்துத் தூசு அணுக்கள் அமை

கின்றன ; அல்லது மேல்நோக்கி இழுக்கப்படும் வீதத்தைப் பொறுத்து அமைகின்றன.

எடுத்துக்காட்டாக, *n*-வகைத் தூசுவான ஆன்டிமொனி வளரும் குறைகடத்தியில் அதன் அளவு விதைப்படிகம் இழுக்கப் படும் வீதத்தைப்பொறுத்து அமையுமாறு படிகமாகிறது. இதற்கு மாறாக, *p*-வகைத் தூசுகளான இண்டியம் அல்லது கேலியம் ஆகிய வற்றின் அளவு இழுக்கப்படும் வீதத்தைப் பொறுத்து அமையாமல் மாறுதிருக்கும்படி படிகமாகின்றன.

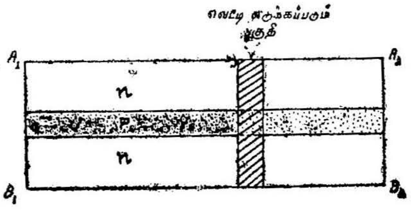
எனவே, உருகிய ஜெர்மேனியக் குழம்பில் *n*-வகை, *p*-வகை இரண்டையுமே தேவையான அளவு கலந்துவிடவேண்டும். பிறகு படிகத்தை மெதுவாக மேல்நோக்கி இழுத்தால் வளரும் படிகம் *p*-வகையாக இருக்கும். படிகத்தைச் சற்று வேகமாக இழுத்தால் வளரும் படிகம் *n*-வகையாக இருக்கும். இவ்வாறு இழுக்கும் வேகத்தைமட்டும் மாற்றி *p-n* சந்தி டையோடை உருவாக்க முடியும். *n-p-n* டிரான்சிஸ்டர் உருவாக்க ஜெர்மேனியக் குழம்பிற்கு ஆன்டிமொனியும் இண்டியமும் தேவையான விகிதத் தில் கலக்கப்படுகின்றன. பிறகு படிகம் சற்று வேகமாக மேல் நோக்கி இழுக்கப்படுகிறது. அதன் பின் சிறிது நேரத்திற்கு அதன் வேகம் குறைக்கப்படுகிறது. மீண்டும் மேல்நோக்கி இழுக்கப்படும் வேகம் அதிகரிக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு இழுக்கப்படும் வேகத்தை மாற்றி மாற்றி, உருவாக்கப்படும் *n-p-n* டிரான்சிஸ்டரில் ஏற்பு வாய் மின்தேக்குதிறன் குறைந்ததாய் இருக்கும்.

மேலே கூறப்பட்ட (i) தூசு மாற்றுமுறை, (ii) இழுக்கப்படும் வேகவீதம் மாற்றுமுறை ஆகிய இரு முறைகளிலும் உருவாக்கப் பட்ட பெரிய படிகத்தில் மூன்று தனித்தனியான, வேறுபட்ட பகுதிகள் இருக்கும். இவை (i) மின்தடை மிக்க *n*-வகைப் பகுதி, (ii) மின்தடைமிக்க *p*-வகைப் பகுதி, (iii) மின்தடை குறைந்த *n*-வகைப் பகுதி ஆகியவையாகும். இவற்றிடையேயுள்ள சந்திப்பு கள் வெளியே கண்ணுக்குத் தெரியா. ஆனால், அவற்றைத் 'தேடு மின்வாய்கள்' (Search electrodes) கொண்டு அறியலாம்.

இந்தப் படிகம் ஒரே அகலமுடைய சிறுசிறு துண்டுகளாக வெட்டப்படுகிறது. வெட்டும்போது, சந்திப்புகளின் தளத் திற்குச் செங்குத்தாகப் படிகம் வெட்டப்பட வேண்டும். படம் 6·7 இத்தகைய துண்டு ஒன்றைக் காட்டுகிறது. பிறகு இந்தத் துண்டுகள் $A_1\ A_2$, $B_1\ B_2$ தளங்களின் வழியே வெட்டப் படுகின்றது. இதில் மூன்று பகுதிகளும் அடங்கிய சீரான தகடு

போன்ற துண்டு கிடைக்கும். இந்தத் தகடு மேலும் சந்திப்பு களின் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக மறுபடியும் வெட்டப் படுகின்றது. இப்போது இரண்டு சந்திப்புகளையும் உடைய சிறிய கட்டைவடிவ டிரான்சிஸ்டர் கிடைக்கும்.

இந்தக் கட்டைவடிவ டிரான்சிஸ்டர்கள் மெருகிடப் படுகின்றன. பிறகு ஒவ்வொரு முனையிலும் உலோக மின்வாய்கள் பதியப்படுகின்றன. மின்வாய்களுக்கு இணைப்புக் கம்பிகள் பொருத்தப்படுகின்றன. இவை ஏற்புவாய் (collector), வெளிப் படுத்தும் வாய் (உமிழ் வாய்) (Emitter) ஆகியவையாகச் செயற் படும். அடித்தளப்பகுதி மிகமிக மெல்லியதாக இருப்பதால் இதில் இணைப்புக் கம்பியைப் பொருத்துவது கடினம். அடித் தளத்தில் சரியான இடத்தில் இணைப்புக் கம்பியைப் பொருத்த ஒரு தனிவகை இயந்திரம் பயன்படுத்தப்படுகிறது.



படம் 6.7
ஜெர்மேனியம் படிகத்திலிருந்து வெட்டி எடுக்கப்படும்
N-P-N டிரான்சிஸ்டர் பகுதி

அடித்தளத்திற்குப் பொருத்தப்படவேண்டிய கம்பி டிரான் சிஸ்டர் கட்டியின் ஒரு முனையிலிருந்து மற்றொரு முனைக்குத் தொட்டுக்கொண்டே நகர்த்தப்படுகிறது. (ஏற்புவாயிலிருந்து வெளிப்படுத்தும் வாய்ப்பகுதி நோக்கி). இப்படி செய்யும்போது ஏற்புவாய், உமிழ்வாய், அடித்தளப் பொருத்துக்கம்பி ஆகியவை ஒரு மின்சுற்றுக்கு இணைக்கப்பட்டிருக்க வேண்டும். நகர்த்தப்படும் பொருத்துக்கம்பி, அடித்தளப்பகுதியில் சரியான பொருத்தமான இடத்தைத் தொடும்போது — அடித்தளத்தில் தொடும்போது — இது டிரான்சிஸ்டராகச் செயற்பட்டுப் பெருக்கு குணத்தைக் காட்டும். இந்நிலையில் இயந்திரம் பொருத்துக் கம்பியை மின் முறையில் அடித்தளப்பகுதியில் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் புள்ளியில் பொருந்தும்படி செய்துவிடுகிறது. பிறகு இது உறுதி யாக இருக்கவும் அதிர்ச்சியைத் தடுக்கவும் ஒரு மூடிய உலோக அமைப்பில் வைக்கப்பட்டுச் சீல் செய்யப்படுகிறது. உலோக மூடி

இதை உறுதியாக இருக்கும்படி செய்கிறது; அதிர்ச்சியைத் தடுக்கிறது.

வளர்க்கப்பட்ட சந்தி டையோடும் இதே முறையில்தான் உருவாக்கப்படுகிறது. டிரான்சிஸ்டர் உருவாக்கப்படும்போது செய்யப்படுவதுபோல், படிகம் வளரும்போது இருமுறை தூசு கலக்கப்படுவது மாற்றப்படுவதில்லை. ஒரே ஒருமுறைதான் மாற்றப்பட்டு ஒரு சந்திப்பு மட்டும் உருவாகும்படி செய்யப்படுகிறது. பிறகு படிகம் முன் விளக்கப்பட்டதுபோல் துண்டாக வெட்டப்பட்டுச் சந்திப்பு டையோடுகள் தயாரிக்கப்படுகின்றன.

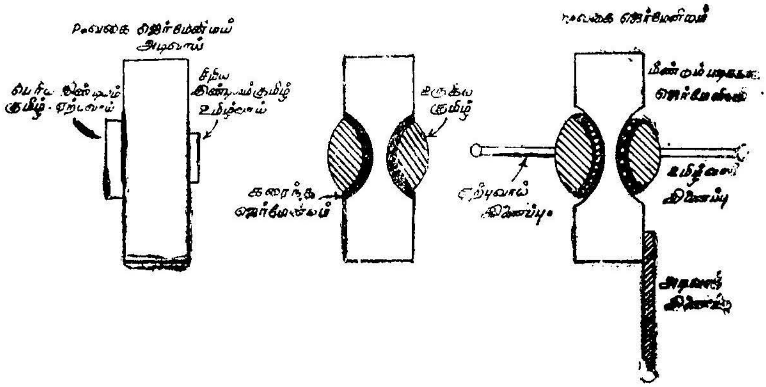
உருகி ஒட்டிய அல்லது கலப்பு உலோகச் சந்திப்பு டையோடுகளும், டிரான்சிஸ்டர்களும்

உருக்கி ஒட்டப்பட்ட சந்தி டிரான்சிஸ்டர்கள் பெரும்பாலும் p-n-p வகையாகவே இருக்கும். குறைகடத்திப் பொருள் முதலில் மண்டல மாசகற்றுமுறையில் தூயதாக்கப்படுகிறது. படம் 6·6-ல் காட்டப்பட்டுள்ள உலையைப் பயன்படுத்தி ஒரு பெரிய படிகம் உருவாக்கப்படுகிறது. இதில் உருகிய ஜெர்மேனியக் குழம்பிற்குக் கலக்கப்படும் தூசு மாற்றப்படுவதில்லை. p-n-p வகையைப் பெற, குழம்பிற்கு n-வகைத் தூசு மட்டுமே கலக்கப்படும். இதன் வெப்பநிலையும், விதைப்படிகம் மேல்நோக்கி இழுக்கப்படும் வீதமும் கண்காணிக்கப்படும் வகையில் ஒரு சீரான n-வகைப் படிகம் வளரும்படி செய்யப்படுகின்றது. இவ்வாறு வளர்ந்த படிகம் பல க.செ.மீ கன அளவு உள்ளதாக இருக்கலாம். மேலும், இதில் 10^{26} தூய குறைகடத்தி அணுவும், 10^{18} தூசு அணுவும் இருக்கலாம். இத்தகைய படிகங்கள் முழுமையானதாக, குறைகடத்திகள் ஏதுமின்றி நிறைவுற்றதாக இருக்கும்.

இந்தப் படிகம் சிறுசிறு தகடுகளாக வெட்டப்படுகின்றன. இதன் அளவு $2 \times 2 \times 0{\cdot}2$ மி.மீ ஆக இருக்கும். இந்தத் தகடு ஒவ்வொன்றும் குறைகடத்தி டையோடாகவோ அல்லது டிரான்சிஸ்டராகவோ ஆக்கப்படும். இந்த n-வகைத் தகடு டிரான்சிஸ்டரில் அடித்தளமாகச் செயற்படும் இந்தத் தகடுகள் பிறகு மெருகேற்றப்படுகின்றன. 'செதுக்கி' (etch) என்ற கழுவுப்பொருளால் (cleaning agent) இதைக் கழுவித் தூய்மைப் படுத்தலாம்.

p-n-p டிரான்சிஸ்டர் உருவாக்க இந்தத் தகட்டின் இரு புறங்களிலும் இண்டியம் சிறு குமிழ்வடிவில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒரு குமிழ் மற்றதைப்போல் மூன்றுமடங்கு பெரியதாயிருக்கும். பெரிய குமிழ் கடைசியில் ஏற்பு வாயாகவும், சிறிய குமிழ் உமிழ்

வாயாகவும் செயற்படும். இந்த இண்டியம் குமிழையுடைய n-வகை ஜெர்மேனியம் ஹைட்ரஜன் சூழலில் 500°C வெப்ப நிலைக்குச் சூடேற்றப்படுகிறது. இந்த உயர் வெப்பநிலையில் இண்டியம் குமிழ்கள் உருகுகின்றன (உருகுநிலை 155°C). ஜெர்மேனியத்தின் உருகுநிலை 500°C-க்கு மேலாகையால் இது உருகுவதில்லை. இந்த உருகிய இண்டியம் சிறிது ஜெர்மேனியத்தைக் கரைத்துவிடுகிறது. இந்தக் கரைசலில் ஜெர்மேனியமும், மிகுந்த இண்டியமும் இருக்கும். இது P-வகையாக அமையும். பிறகு இது குளிரவைக்கப்படும்போது இண்டியம் அடங்கிய ஜெர்மேனியம் மீண்டும் படிகமாகிறது. இந்தப் படிகப்பகுதி P-வகையாக இருக்கும். மேலும் குளிரவைத்தால் இண்டியம் அப்படியே குமிழாக உறைந்துவிடும். இந்தக் குமிழில் சிறிது ஜெர்மேனியமும் கலந்திருப்பதால் இது கலப்பு உலோகமாக இருக்கும் (Alloy Junction Transistor).



படம் 6.8
உருகி ஒட்டிய கலப்பு உலோக டிரான்சிஸ்டர்

ஏற்புவாய், உமிழ்வாய் ஆகியவற்றிற்கான இணைப்புக் கம்பிகள் இண்டியம் குமிழ்களுக்கு இணைக்கப்படுகின்றன. அடித் தளத்திற்கு, ஒரு தங்கம் பூசப்பட்ட கம்பி உருக்கி ஒட்டவைக்கப் பட்டுள்ளது. இவ்வாறு ஒரு மெல்லிய ஜெர்மேனியத் தகட்டின் இரு புறங்களிலும் சந்திப்புகள் தோற்றுவிக்கப்பட்டு ஒரு உருக்கி ஒட்டப்பட்ட p-n-p டிரான்சிஸ்டர் உருவாக்கப்படுகிறது.

பரப்புமிகுந்த ஏற்புவாய், உமிழ்வாயிலிருந்து உமிழப்படும் துளைகள் எல்லாவற்றையும் ஏற்றுவிடுகிறது. இதனால் ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் (collector current) உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்திற்கு

ஏறத்தாழச் சமமாயிருக்கும். இரு சந்திகளுக்குமிடையேயுள்ள இடத்தின் தடிமன் மிகமிகக் குறைந்திருக்கும். இதுதான் டிரான் சிஸ்டரின் மின் பண்புகளை நிர்ணயிக்கிறது. இந்தத் தடிமன் வெப்பநிலையையும், வெப்பநிலையில் அணு வைக்கப்பட்டிருக்கும் நேரத்தையும் பொருத்து அமையும். எனவே, ஜெர்மேனியத் தகட்டின் தடிமன், வெப்பநிலை, வெப்பநிலையில் வைக்கப்படும் நேரம் ஆகியவை துல்லியமாகக் கணக்கிடப்பட்டுக் கட்டுப் படுத்தப்பட வேண்டும்.

இவ்வாறு தயாரிக்கப்பட்ட டிரான்சிஸ்டர், பின் செதுக்கியால் துப்புரவாக்கப்பட்டு, ஈரத்திலிருந்து காக்க, கிரீஸ் தடவப் பட்ட உறைக்குள் வைக்கப்படுகிறது. இது பிறகு, காற்றுப் புகாமல் இருக்கும்படி கண்ணாடிக் கூட்டுக்குள் வைக்கப்பட்டுச் சீல் செய்யப்படுகிறது. கண்ணாடிக் கூட்டின் அடிவழியே இணைப்புக் கம்பிகள் நீட்டிக்கொண்டிருக்கும்படி செய்யப்படுகிறது. கண்ணாடிக் கூட்டின் வெளிப்புறத்திற்கு வெளிச்சத்தைத் தடுக்கும் வகையில் ஒளிபுகா வண்ணப்பூச்சு கொடுக்கப்படுகிறது.

உருக்கி ஒட்டப்பட்ட சந்திப்பு டையோடுகள் மேலே விவரிக்கப்பட்டபடியே உருவாக்கப்படுகின்றன. இதற்கு, ஜெர் மேனியத் தகட்டின் ஒரு புறத்தில் மட்டும் இண்டியம் குமிழ் வடிவில் வைக்கப்படும்.

சந்திப்பு டையோடுகளையும், டிரான்சிஸ்டர்களையும் உரு வாக்கும்போது கீழ்க்கண்ட மூன்று முக்கிய இடர்கள் ஏற்படும்.

1. மிகமிகத் தூய்மையான குறைகடத்திப் பொருள்கள் தேவைப்படுகின்றன. இதற்காக மண்டல மாசகற்றுமுறையில் மீண்டும் மீண்டும் பலமுறை குறைகடத்திப் பொருளை மாசகற்ற வேண்டும்.

2. குறைகடத்தித் தகட்டில் மேல்பரப்பில் ஒட்டிக்கொண் டிருக்கும் தூசு அணுக்களால் தேவையற்ற விளைவுகள் தோன்றும். இதைத் தவிர்க்க ஒவ்வொரு நிலையிலும் குறைகடத்தித் தகடு தூய்மைப் படுத்தப்பட்டுச் செதுக்கப்படுகிறது. அத்தோடு உரு வாக்கப்பட்ட டையோடோ டிரான்சிஸ்டரோ மேலும் கெட்டுப் போகாமலிருக்க — மேலும் அழுக்கடையாமலிருக்க — அவற்றை உறைகளில் காற்றுப் புகாவண்ணம் சீல் செய்யவேண்டும்.

3. அடித்தளம் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு தடிமன் குறைந்தும் சீராகவுமிருக்கிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு டிரான்சிஸ்டரின்

பண்பு உயர்வானதாக இருக்கும். அடித்தளப் பகுதியை மிக மெல்லியதாக ஆக்குவதும் அதற்கு இணைக்கம்பியைப் பொருத்து வதும் அவ்வளவு எளிதல்ல.

உருக்கி ஓட்டப்படும் முறையில் டிரான்சிஸ்டர்கள் உருவாக்கப்படும்போது அதிலுள்ள முக்கிய இடர் அடித்தள ஜெர்மேனியத்தில் உருகிய இண்டியம் குமிழ் உட்புகும் ஆழத்தைக் கட்டுப்படுத்துவதேயாகும். படம் 6·8-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளதுபோல் உருக்கி ஒட்டிய சந்திப்புகள் நேர்த்தளமாக அமையவில்லை. இவை இணையாகவுமில்லை. அடித்தளம் பக்கமாகக் குவிந்துள்ளன. இதன் விளைவாக உருக்கி ஒட்டிய சந்தி டிரான்சிஸ்டர் செயற்திறம் மிகுந்ததாக இருக்காது.

இந்த இடர் கீழ்க்கண்ட தனிவகைச் செயல்முறையால் தவிர்க்கப்படுகிறது. n-வகைக் குறைகடத்தித் தகட்டின் இரு பக்கங்களிலும் ஓர் உலோக உப்பு பீச்சியடிக்கப்படுகிறது. (jet) இதன் விளைவாகத் தகட்டின் இரு புறங்களிலும் நடுப்பகுதியில் ஒரு குழிவுப்பகுதி செதுக்கப்படுகிறது. இதனால், இந்தக் குழிவில் தகட்டின் தடிமன் 0.0018 செ.மீ தான் இருக்கும். தகட்டின் இரு புறமுமுள்ள குழிவுகளிலும் அலுமினியம் குமிழ்வடிவில் வைக்கப்படுகிறது. இது சூடேற்றப்படும்போது மேலும் 0.00015 செ.மீ குறைகடத்தித் தகட்டின் கனம் கரைந்துவிடும். இதைக் குளிரவைக்கும்போது உருகிய பகுதிகள் உறைந்து மீண்டும் படிகமாகி P-வகைக் குறைகடத்தியாக மாறுகின்றன. இவை ஏற்புவாய், உமிழ் வாயாகச் செயற்படும்.

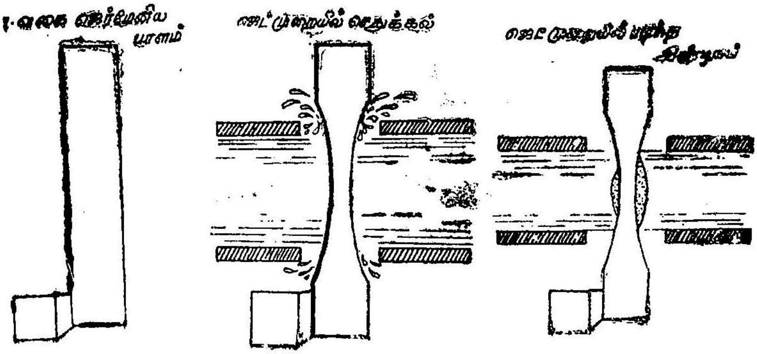
தூசு அணுக்கள் உருகி உட்புகும் ஆழம், வெப்பநிலை மற்றும் வெப்பநிலையில் வைக்கப்படும் நேரம் ஆகியவற்றைக் கட்டுப்படுத்தித் தேவையான அளவு அமைக்கப்படுகிறது. இந்த ஏற்பாட்டினால் சந்திகளுக்கிடையேயுள்ள அடித்தளப் பகுதியின் தடிமன் மிகமிகக் குறைவாக 0.00125 செ.மீ அளவுக்கு இருக்குமாறு செய்யப்படுகிறது.

குவிந்து இணையாக இல்லாத உருக்கி ஒட்டிய சந்திப்புகளைத் தவிர்ப்பதற்கு வேறொருமுறையும் கையாளப்படுகிறது. இது ஆவி உட்புகும் முறை (vapour diffusion method) எனப்படும். இந்த முறையில் திடப்பொருளாக உள்ள n-வகை அடித்தளத் தகட்டில் p-வகைத் தூசு ஆவியாக உட்புகுத்தப்படுகிறது. இவ்வாறு n-வகைச் சிலிக்கான் தகட்டின் மீது p-வகை 'போரான்' டிரைகுளோரைடு ஆவி பீச்சியடிக்கப்படுகிறது. இதனால்

p-வகைப் போரான், சிலிக்கான்மீது படிந்துவிடும். இவ்வாறு படியும் போரானின் ஆழத்தை வேண்டிய அளவுக்குக் கட்டுப் படுத்திக் கொள்ளலாம்.

போரானுக்குப் பதிலாக இண்டியத்தையும் இவ்வாறு ஜெட் முறையில் படியவைக்கலாம். ஜெட் முறையில் படியுமாறு செய்யப்பட்ட இண்டியம் 0 1 மி.மீ அளவில் இருக்கும்.

ஜெட்முறையில் இண்டியம் அல்லது போரான் படியுமாறு செய்வதைப் படம் 6·9 காட்டுகிறது. இதில் n-வகை அடித் தளத்தட்டு ஜெர்மேனியப் பாளமாகும். இதன்மீதுதான் போரான் அல்லது இண்டியம் படியவைக்கப்படுகிறது. ஜெட் ஜெர்மேனியப் பாளத்தின்மீது பீச்சி அடிக்கப்படும்போது அதன் நடுப்பகுதியில் ஒரு பள்ளம் உண்டாகும். இதையே 'செதுக்குதல்' (etching) என்கிறோம்.



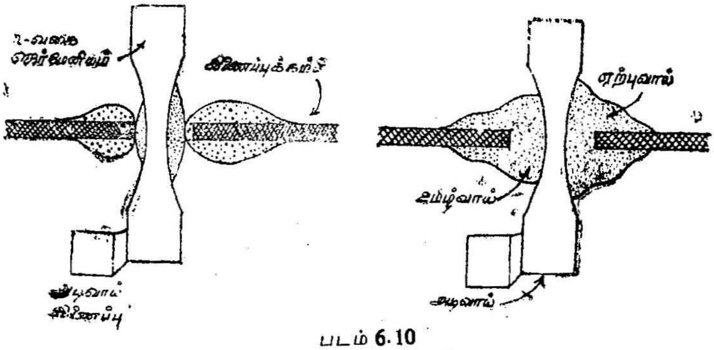
படம் 6.9
ஜெட் முறையில் செதுக்குதல்

ஜெர்மேனியப் பாளத்தின் இரு பக்கங்களிலும் இந்தப் பள்ளம் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இந்தப் பள்ளங்களில்தான் இண்டியம் அல்லது போரான் குமிழ்கள் படிந்து உருவாகின்றன.

இந்த இண்டியம் குமிழ்களின்மீது இருபுறங்களிலும் 1% கேலியம் கலந்த இண்டியம் வைக்கப்பட்டு, அத்தோடு இணைப்புக் கம்பிகளும் வைக்கப்படுகின்றன. இவை ஒரு குறிப்பிட்ட பற்ற வைப்புக்கோலினால் சூடாக்கப்படும். இண்டியம் உருகும் நிலையை அடைந்தவுடன் இணைப்புக் கம்பியுடன் உள்ள இண்டியமும், ஜெர்மேனியப் பாளத்தில் படிந்துள்ள இண்டியமும் உருகி,

ஒன்றுய்க் கலந்து விடுகின்றன. குளிர்ந்தவுடன் இவை கெட்டி யாகிவிடும். இப்போது இணைப்புக் கம்பிகள் இருபுறங்களிலும் பொருந்தியிருக்கும். இந்தத் தயாரிப்பு முறையைப் படம் 6·10 காட்டுகிறது.

இன்னும் அரிய முறைகளில் உயர்தரமான, தரமிக்க டிரான்சிஸ்டர்களை உருவாக்குவதற்கு மேலும் மேலும் ஆய்வுகள் நடந்துகொண்டே யிருக்கின்றன. இவையெல்லாம் குறைகடத்தி யின் பண்புகளைக் குறைக்கும் இடர்களைக் களைவதற்குச் செய்யப் படும் ஆய்வுகளேயாகும்.

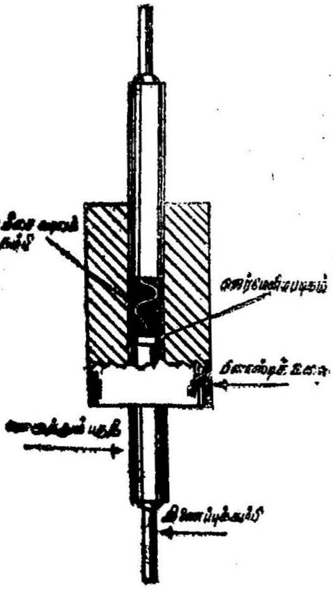


படம் 6.10
உருக்கி ஒட்டுதல்

புள்ளித்தொடு டையோடுகளும் டிரான்சிஸ்டர்களும்

புள்ளித்தொடு டையோடுகளும் டிரான்சிஸ்டர்களும் நீண்ட காலத்திற்குமுன்பே கண்டுபிடிக்கப்பட்டுவிட்டன. இவை சந்தி டையோடுகளும், டிரான்சிஸ்டர்களும் பயன்பாட்டுக்கு வரு வதற்கு முன்பாகவே பயன்படுத்தப்பட்டு வந்தன. ஆனல், சந்தி டையோடுகளும் டிரான்சிஸ்டர்களும் மிகத் தெளிவான கோட் பாடுகளைக் கொண்டிருப்பதால் அவையே இப்போது பெரும் பாலும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. சந்தி டையோடுகளின் கோட்பாடுகளை மிக எளிதாக, முழுவதுமாக விளக்கிவிடலாம். ஆனல், புள்ளித்தொடு டையோடுகளின் இயங்குமுறையை விளக்குவது அவ்வளவு எளிதல்ல. இதன் கோட்பாடுகளும் இது வரை சரியாகப் புரிந்துகொள்ளப்படவில்லை. இருந்தாலும், இந்தப் புள்ளித்தொடு டையோடுகள் மிக உயர் அதிர்வெண்களில் சந்தி டையோடுகளைவிட மிக நன்ருகச் செயற்படுகின்றன. ஏனெனில், சந்தி டையோடுகள் சந்தியின் குறுக்கே ஓர் உள்மின்

தேக்குதிறன் தோன்றி விடுகிறது. இந்த மின் தேக்குதிறன் உயர் அதிர்வெண்களில் மிக முக்கியமானது. சந்தி டையோடு களில் உயர் அதிர்வெண்களில் செயற்படும்போது இந்த மின் தேக்குதிறன் கருவியின் செயல்முறைகளில் ஒரு முக்கிய பங்கு வகிக்கிறது. ஆனால், புள்ளித்தொடு டையோடுகள் மிகக்குறைந்த உள் மின் தேக்குதிறனைப் பெற்றிருப்பவை. எனவே, இவை உயர் அதிர்வெண்களில் தரம் மிக்கதாகச் செயற்படுகின்றன.



படம் 6·11
புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர்

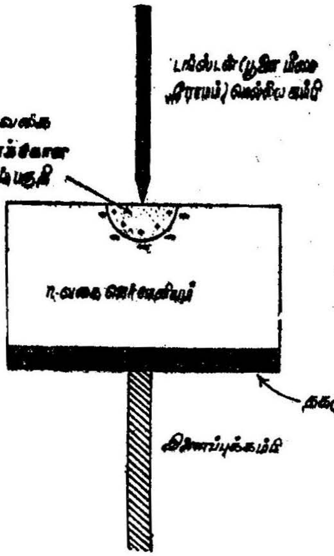
இந்த டையோடுகள் ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் போன்ற குறை கடத்தியைப் பயன்படுத்தி மிக நல்லமுறையில் இப்போது தயாரிக்கப்படுகின்றன. இப்போதெல்லாம் குறைகடத்தி டையோடுகள் குற்றலைப் பகுப்பான்களாகப் (Microwave detector) பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இதற்கு முக்கியகாரணம் இவற்றின் குறைந்த மின்தேக்குதிறனே. இதற்கு மாறாகக் குறைந்த அதிர்வெண்களில் சந்தி டையோடுகளும் பயனுள்ளதாய் இருக்கின்றன.

இன்றைய பயன்பாட்டிலுள்ள ஒரு புள்ளித்தொடு டையோடு படம் 6·11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த டையோடு தயாரிக்கப்

படும்போது மின்முறையில் உருவாக்கப்படுகின்றது. இதன் இயங்குமுறைக் கோட்பாடுகள் சந்தி டையோடின் இயங்குமுறைக் கோட்பாடுகளோடு ஒட்டியிருக்குமாறு உருவாக்கப்படுகிறது. முக்கியமாக அலைத்திருத்தியாகவோ பகுப்பானாகவோ பயன் படுத்தப்படும்போது சந்தி டையோடைப் போலவே இது செயற் பட வேண்டும். புள்ளித்தொடு டையோடு கீழ்க்கண்ட முறையில் உருவாக்கப்படுகிறது. பொருத்தமாகத் தயாரிக்கப்பட்ட n-வகை ஜெர்மேனியப் படிகத்தின்மீது டங்ஸ்டனாலான, பூனை மீசைமயிர் போன்ற மெல்லிய கம்பி வைக்கப்பட்டு, தொடுமாறு செய்யப்படுகிறது. இதன் வழியே திடீரென்று மிகக் குறைந்த காலத்திற்கு மின்னோட்டம் செலுத்தப்பட்டிருக்கிறது. பொது வாக ஒரு மின்தேக்கியிலிருந்து திடீரென்று மின்னூட்டங்களைச் செலுத்தலாம். இந்த மின்னோட்டமானது சாதாரணமாகச் செயற்படும் மின்னோட்டத்தைவிடப் பலமடங்கு மிகுதியாக இருக்கும். இது 700 அல்லது 800 மில்லி ஆம்பியர்கள் இருக்க லாம். இவ்வாறு ஒரு துடிப்பு மின்னோட்டம் திடீரென்று செலுத்தப்படும்போது தொடும் புள்ளியில் மின்னோட்டச் செறிவு மிகுதியாகி அந்தப் புள்ளியில் தொடும் பொருளை உருக்கி விடும் அளவுக்கு இருக்கும். தொடும்புள்ளியில் இந்த மீசைமயிர் போன்ற தொடும்பொருள் சிறிது உருகிப் படிகத்துடன் ஒட்டிக் கொள்ளுமாறு அமைந்துவிடுகிறது. இத்தகைய தொடுப்பு வலிமைவாய்ந்ததாகவும் அமையும்.

இவ்வாறு உருவாக்கப்பட்ட புள்ளித் தொடுப்பின் மின்னியல் பண்புகள் ஏறத்தாழ p-n சந்தியின் மின்னியல் பண்பை ஒத்திருக் கும். இவ்வாறு உருவாக்கப்படும்போது உருகிய மயிர்ப்பகுதிப் பொருள் படிகத்தினுள்ளே சென்று ஏறத்தாழ அரைக்கோள வடிவில் ஒரு பகுதியாகத் தொடுபுள்ளியினடியில் அமைந்து விடு கிறது. இந்த அரைக்கோள வடிவப் பகுதியின் செயலும் குணங் களும் இதுவரை முற்றிலும் அறியப்படாதவை. ஆனாலும், இது ஓர் p வகைச் சந்தியைத் தோற்றுவிப்பதாக நம்பலாம். ஏனெனில், ஜெர்மேனியம் படிகத்தில் அதன் அடிப்படை அமைப்பு உள்ளே புகுத்தப்பட்ட ஏற்பி அணுவினால் சேதமடைந்து அந்த இடத்தில் p-பகுதி தோன்றுவதாகக் கொள்ளப்படுகிறது. தொடும்புள்ளியின் கீழே இவ்வாறு p-வகைப் பகுதி தோற்று விக்கப்படுவதால் இது ஒரு p-n சந்தியைப்போல் செயல்படுவ தாகக் கொள்ளலாம். எனவேதான் புள்ளித்தொடு டையோ டும். சந்தி டையோடும் ஏறத்தாழ ஒரே அடிப்படையில் செயற் படுகின்றன என்று சொல்லப்படுகிறது.

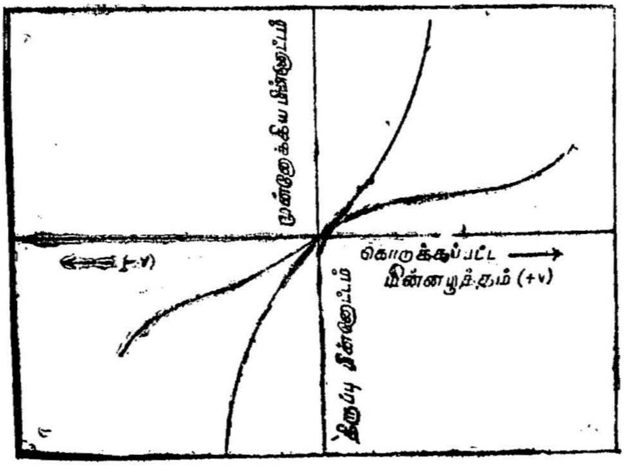
படம் 6·12-ல் இவ்வாறு அமைந்துள்ள புள்ளித்தொடு சந்தியின் உள்ளமைப்பு காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. n-வகை ஜெர்மேனியத்தில் p-வகைப் பகுதி அரைக்கோள வடிவமாக உருவாகி இருப்பதைப் படம் காட்டுகிறது. இணைப்புக்கம்பி, அடிப்பகுதியிலுள்ள உலோகத் தகட்டுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. n-வகை ஜெர்மேனியத்தைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் பூனை மீசை மயிர் போன்ற மெல்லியகம்பி படத்தில் பலமடங்குப் பெரிதாக்கிக் காட்டப்பட்டுள்ளது. உண்மையில் இது ஒரு மயிர் அளவுக்கே மெல்லியதாக இருக்கும்.



படம் 6·12
புள்ளித்தொடு சந்தி அமைப்பு

ஒரு புள்ளித்தொடு டையோடின் மின்னழுத்த, மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பு படம் 6·13-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இது ஒரு சந்தி டையோடுக்கான மின்னழுத்த. மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பு வரைகோட்டைப்போலவே அமைந்திருக்கிறது. இதன் சிறப்பியல்பைத் தேவைக்கேற்றபடி மாற்றியும் அமைத்துக்கொள்ள முடியும். புள்ளித்தொடு டையோடு செய்வதற்குப் பயன்படுத்தப்படும் ஜெர்மேனியத்தின் கடத்துதிறனையும், அது உருவாக்கப்படும்போது செலுத்தப்படும் மின்னோட்டத்தின் அளவையும் பொருத்துப் புள்ளித்தொடு டையோடின் சிறப்

பியல்பு அமைகிறது. மின்னழுத்த, மின்னேட்டச் சிறப்பியல்புகளை ஒரு சந்தி டையோடுக்கும் ஒரு புள்ளித்தொடு டையோடுக்கும் ஒப்பிட்டுப்பார்க்கும்போது இவற்றில் நல்ல வேறுபாடு தெரியும். இந்த வேறுபாடு ஊர்தியின் உருவ அமைப்பினுலும், உருவ அளவினுலும் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. சந்தி டையோடுகள் உருவத்தில் சிறியவையாயிருக்கும். ஆனால், புள்ளித்தொடு டையோடுகள் உருவத்தில் பெரியவை. ஆனால், உண்மையிலேயே செயற்படும் பகுதி புள்ளித்தொடு பகுதியில் மிகமிகச் சிறிய தாகும். எனவேதான் அது 'புள்ளித்தொடு டையோடு' எனப் பெயர்பெற்றது. திருப்பு மின்னழுத்தத்தில் இந்தப் புள்ளித் தொடு டையோடுகளில் மின்னேட்டமானது தெவிட்டிவிடாது



படம் 6·13
புள்ளித்தொடு சந்தியின் சிறப்பியல்பு வளைகோடு

அல்லது தெவிட்டு மின்னேட்டம் ஏற்படாது. முன்னேக்கிய பயாசில் ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னேட்டத்தைப் பெறுவதற்குத் தேவையான முன்னேக்கிய மின்னழுத்தம் ஒரு சந்தி டையோடை விட புள்ளித்தொடு டையோடுக்கு மிகுதியாகத் தேவைப்படும் இத்தோடுகூட இதில் மின்னேட்டம் தோன்றுவதற்கு வாய்ப் புண்டு. ஆனால், இந்த மின்னேட்டம் தொடுபுள்ளியில் தோன்ருது அதைச் சுற்றியுள்ள சேதமடைந்த படிகப்பகுதியில் தான் ஏற்படும். சந்தி டையோடைக் காட்டிலும் முன்னேக்கிய பயாசு நிலையில் மின்னழுத்த வீழ்ச்சி மிகுதியாக இருக்கும். ஏனெனில், இதிலுள்ள தொடுசந்தியில் உள்ள மின்னேட்டம் முழுவதும் ஒரு சிறிய குறுக்குப் பரப்பில் செயற்படும்படி குவிக்கப் படுகிறது.

புள்ளித்தொடு டையோடில் தொடும்புள்ளிச் சந்தியிலுள்ள மின்தேக்குதிறன் மிகமிகக் குறைவாக இருப்பதால் குற்றலை அதிர்வெண்களில் இது தரமிக்கதாக மிக நல்லமுறையில் பயன் படும்,

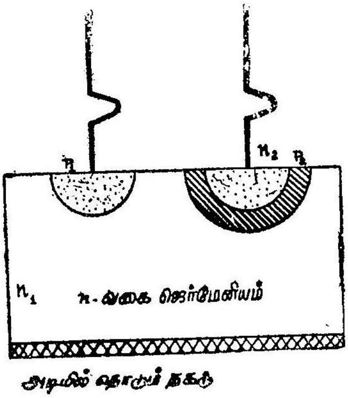
புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர்கள்

புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர்கள், சந்தி டிரான்சிஸ்டர்கள் போலவே செயல்படக்கூடியவை. புள்ளித்தொடு டையோடு எவ்வாறு உருவாக்கப்படுகிறதோ அவ்வாறே புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர்களும் உருவாக்கப்படுகின்றன. ஒரு புள்ளித்தொடு p-n-p டிரான்சிஸ்டரில் ஒரு n-வகை ஜெர்மேனியப் படிகம் அல்லது சிலிக்கான் படிகம் அடிப்பகுதியாக அமைகிறது. பிறகு, இரண்டு புள்ளித் தொடுப்புகள் இந்தக் குறைகடத்திப் படிகத்தின் மேல் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. இவை இரண்டும் அடுத்தடுத்து மிக அருகிலிருக்கும். இவற்றிடையே இடைவெளி மிகமிகக் குறுகியதாகச் சில மைக்ரான்கள் அளவு இருக்கும். ஒரு புள்ளித் தொடுப்பு வழக்கமாக டங்ஸ்டனாலும் மற்றது பாஸ்பர் பிரான்சினாலும் (Phosphor - bronze) செய்யப்பட்டிருக்கும். இந்த இரண்டு தொடுப்புக்களில் ஒன்று முன்னோக்கிய திசையில் பயாசு பெறும்படி செய்யப்படுகிறது; இது உமிழ் வாயாகச் செயல்படுகிறது. மற்றொரு தொடுப்பு திருப்பு பயாசில் வைக்கப் படுகிறது; இது ஏற்பு வாயாகச் செயல்புரியும். பாஸ்பர் பிரான்ஸ் தொடுப்புதான் பொதுவாக ஏற்பு வாயாக அமைக்கப்படுகிறது.

இவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்படும் புள்ளித்தொடுப்பு டிரான்சிஸ்டர்கள் நல்ல உமிழ்வாய்ப் பண்புகளையோ அல்லது நல்ல ஏற்புவாய்ப் பண்புகளையோ கொண்டிருப்பதில்லை. எனவே, இந்தத் தொடுப்புகள் டையோடில் செய்யப்பட்டதுபோல் உருவாக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு உருவாக்கப்படும்போது மிகுதியான துடிப்பு மின்னோட்டங்கள் வெவ்வேறு வழிகளில் வெவ்வேறு கால அளவுகளுக்குச் செலுத்தப்படுகின்றன. மின்னோட்டங்கள் ஒவ்வொரு தொடுப்புக்கும் அடிப்பகுதிக்கும் இடையேயோ அல்லது இரண்டு தொடுப்புக்களுக்கும் இடையேயோ செலுத்தப்படலாம். இவ்வாறு உருவாக்கப்படும் புள்ளித்தொடுப்பு டிரான்சிஸ்டர்களின் பண்பியல்புகளைப் பார்க்கும்போது இவை உருவாக்கப்படும் முறைகளுடன் இவற்றைத் தொடர்புபடுத்தி விளக்கிட முடியாது. மிகுந்த மின்னோட்டங்களைப் பயன்படுத்தி உருவாக்கப்படும் புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர்களில் செலுத்தப்படும் மின்னோட்டமானது அவற் றின் மின்னோட்டப் பெருக்கத்தைத் தீர்மானிக்கிறது. இவ்வகை

டிரான்சிஸ்டர்களில் மின்னோட்டப்பெருக்கம் α, ஒன்றைவிட அதிகமாக இருக்கும். பொதுவாக, இத்தகைய குணம் சந்தி டிரான்சிஸ்டர்களில் காணப்படுவதில்லை. இந்த மின்னூட்டப் பெருக்கம் α 2லிருந்து 4வரை இருக்கும்.

புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர்களின் குணங்கள் அவை தோற்றுவிக்கப்பட்டபின் விளக்கிக் கூறப்பட்டுள்ளன. இதில் p-n-p-n என்று நான்குபகுதிகள் உள்ளன. இது படம் 6·15-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. ஏற்புவாய் உருவாக்கப்படும்போது அதற்கு மிகுந்த உருவாக்கும் மின்னோட்டத் துடிப்பு தேவைப் படுகிறது. இதனால், அந்தப் புள்ளித் தொடுப்பின் கீழே இரண்டு பகுதிகள் தோற்றுவிக் கப்படுகின்றன. n-பகுதி பாஸ் பர் பிரான்ஸிலிருக்கும் பாஸ்பர சினால் தோற்றுவிக்கப்படுவதாக நம்பப்படுகிறது. p-பகுதி படிக அமைப்பு சேதமடைவதால் தோற்றுவிக்கப்படுவதாக எண் ணப்படுகிறது.

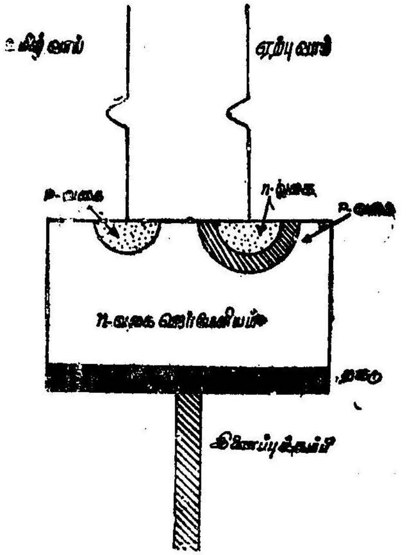


படம் 6·14
புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டரின் அமைப்பு—1

இவ்வாறு தயாரிக்கப்பட்ட டிரான்சிஸ்டரின் நான்கு பகுதி களும் படத்தில் காண்பிக்கப்பட் டுள்ளன. இந்த நான்கு பகுதி களின் செயல்முறையை எளிதாக விளக்கலாம். இவற்றில் மூன்று மூன்றாக எடுத்துக்கொண்டு விளக்குவது எளிதாக இருக்கும். அப்படி எடுத்துக்கொண்டால் இந்த நான்கு பகுதிகளும் இரண்டு டிரான்சிஸ்டர்களுக்கு அதிகமாகத் தோன்றும். முதலில் ஒரு P-n-P டிரான்சிஸ்டர், இதில் P-பகுதி ஓர் உமிழ் வாயாகவும், n-பகுதி அடிப்பகுதியாகவும், மீண்டும் P-பகுதி ஏற்புவாயாகவுமிருக்கிறது. இரண்டாவது ஒரு n-P-n டிரான் சிஸ்டர். இதில் n-பகுதி அடியாகவும், P-பகுதி ஏற்புவாயாகவும், மீண்டும் n-பகுதி அடுத்த ஏற்புவாயாகவும் செயல்படுகிறது. இந்த இரண்டு டிரான்சிஸ்டர் பகுதிகளும் படத்தில் காண்பிக்கப் பட்டுள்ளன. இதில் P-n-P டிரான்சிஸ்டரின் மின்னோட்டப் பெருக்கம் α_1,-என்று கொள்வோம். n-P-n-ன் மின்னோட்டப் பெருக்கம் α_2 என்று கொள்வோம். மொத்த மின்னோட்டப் பெருக்கமானது α-என்று கொண்டால்,

$$\alpha = \frac{\alpha_1}{1-\alpha_2}$$ — என்று காட்டலாம்.

α_2 ஐ ஏறத்தாழ ஒன்றுக்கு அருகிலிருக்கும்படி செய்துவிட்டால், மொத்த மின்னோட்டப்பெருக்கம் α, பெருமளவு அதிகமாகி விடும்.

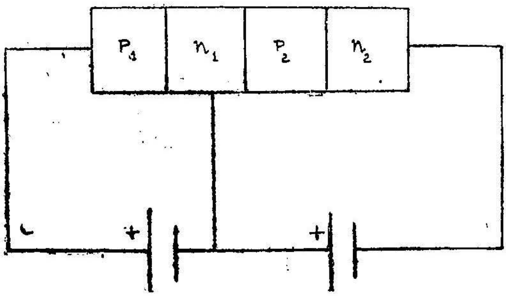


படம் 6·15
புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டரின் அமைப்பு—2

புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர்களில் மின்னோட்டப் பெருக்கம் ஒன்றுக்குமேல் அதிகமாக இருப்பதற்கான காரணத்தை வேறொரு கொள்கை வழியில் விளக்கலாம். இதற்கு P-n கொக்கிப் பெருக்கம் என்று பெயர். இதைப் பரிசோதனை மூலம் சரிபார்க்க முடியாது. இந்த P-n கொக்கிக் கொள்கையைக் கீழ்க்கண்ட வாறு விளக்கலாம். உருவாக்கப்படும் முறையிலேயே ஏற்பு வாயானது கலப்புமிக்க n-பகுதியால் சூழப்பட்டிருக்கிறது. இந்த n-பகுதியைச் சுற்றி மற்றொரு P-பகுதி இருக்கிறது. இந்தப் புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டருக்குப் படத்தில் காட்டியுள்ளது போல் ஒரு பயாசு கொடுக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம்.

படத்திலிருந்து P_2-பகுதி இரண்டு n-பகுதிகளுக்கிடையே இருப்பது தெரிகிறது. உண்மையில் n_1, P_2, n_2 ஆகிய மூன்றும்

ஒரு n-P-n டிரான்சிஸ்டரைப்போலவே செயல்படுகிறது. அதன் ஏற்புவாய் n_1 ஐ உமிழ்வாய் n_2-உடன் ஒப்பிடப்படும்போது நேர்க்குறி கொண்டிருக்கும். n_2-பகுதி P_2-பகுதியை விடக் கலப் படம்மிக்கதாகச் செய்யப்பட்டுள்ளது. எனவே, இந்த n_2-பகுதி திறம்வாய்ந்த உமிழ்வாயாகச் செயல்படும். இந்த டிரான்சிஸ்டரில் மின்னோட்டமெதுவும் இல்லையாகையால், மொத்த மின்னழுத்தமும் n_1, P_2.—சந்தியில் வீழ்ச்சி அடைகிறது. இருந்தாலும், P_2-வானது உமிழ்வாய்-n_2 உடன் ஒப்பிடப்படும் போது சற்றே நேர்க்குறியுடையதாயிருந்தால் n_2-விலிருந்து P_2-க்கு எலக்ட்ரான்கள் உட்புகுத்தப்படும். இதைத்தான் 'கொக்கிச் செயல்' என்கிறோம். ஏற்புவாய்ப் பகுதி கொக்கிவாய்ப்



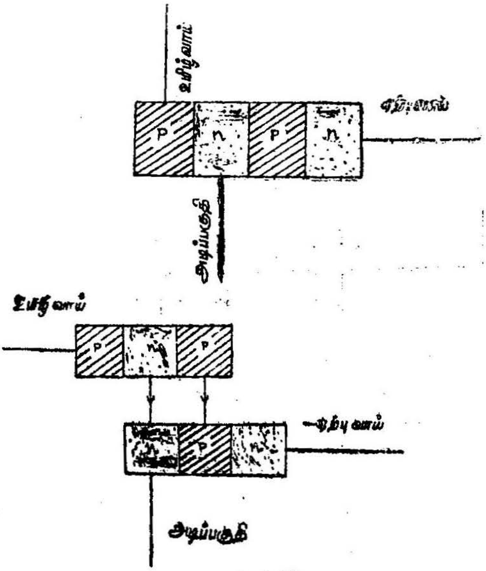
படம் 6.16
புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டரின் அமைப்பு விளக்கம்

பகுதிஎன்றே சொல்லப்படுகிறது. ஏற்பு வாயோடு ஒப்பிடப்படும் போது அடிப்பகுதியான n_1 நேர்க்குறி கொண்டதாக இருப்ப தால் P_2-வும் நேர்க்குறி கொண்டதாகவே இருக்கிறது. P_2-பகுதி எந்தவித இணைப்புமில்லாமல் n_1, n_2 பகுதிகளிடையேயிருக்கும். கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தத்தில் பெருமளவு n_1, P_2 சந்தியில் வீழ்ச்சியடைகிறது.

புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டரில் உமிழ்வாய்-P_1 அடிப்பகுதி n_1 உடன் ஒப்பிடும்போது நேர்க்குறியாக இருக்கும். எனவே, இது n_1-பகுதிக்கு, துளைகளை உட்புகுத்துகிறது. இத் துளைகள் எல்லாப்பகுதிகளிலும் ஊடுருவிச் செல்லுகின்றன. n_1, P_2-பகுதி திருப்பிய பயாசுடன் இருப்பதால் P_2-இந்தத் துளைகளை ஏற்றுக் கொள்ளுகிறது. உமிழ்வாயிலிருந்து துளைகள் P_2-வை அடைந்ததும் P_2 பகுதி நேர்மின்னூட்டம் பெற்று, P_2-க்கும் n_2-க்கும் இடையே யுள்ள சந்தி முன்னோக்கிய பயாசைப் பெறுகிறது. n_2-பகுதி

எலக்ட்ரான் உமிழ்வாயாகச் செயல்படுகிறது. இதனுல், மிகுந்த எலக்ட்ரான் மின்னேட்டம் n_2-விலிருந்து P_2-பகுதிக்கு ஓடுகிறது. அது மேலும் P_2-வைத் தாண்டி n_1-வரை போகும். n_2-லிருந்து P_2க்குச் செல்லும் எலக்ட்ரான் உமிழ்வுத் திறமிக்கதாக யிருந்தால் P_1-லிருந்து வரும் உமிழ்வாய் மின்னேட்டம் பலமடங்காகப் பெருக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு n_2-வழியே ஓடும் மின்னேட்டம் அதிகரிக்கிறது.

P_2-பகுதிதான் 'கொக்கி அடுக்கு' (hook layer) எனப்படும். இதுதான் கொக்கியாகச் செயல்படுகிறது. இந்தப் புள்ளித்



படம் 6.17

தொகுப்பு டிரான்சிஸ்டரை விளக்கினுலும் செயல்முறையில் அது P-n-P டிரான்சிஸ்டரைப்போன்றே யிருக்கும். அவற்றின் சிறப்பியல்புகளும் P-n-P டிரான்சிஸ்டரைப் போலவேயிருக்கும். சமானச் சுற்றுகளும் சந்தி டிரான்சிஸ்டருக்குப்போலவே இதற்கும் இருக்கும். பொதுவாக ஏற்புவாய் மின்தடை குறைவாகவும், உள்ளீடு மின்தடை அதிகமாகவும் இருக்கும். மின்னேட்டப் பெருக்கம் ஒன்றைவிட அதிகமாக இருப்பதால் புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர் ஓர் எதிர் மின்தடையைத் தோற்றுவிக்க முடியும்.

புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டரின் இந்தச் சிறப்புப்பண்பு அதை ஓர் அலையியற்றியாகப் பயன்படுத்த வாய்ப்பளிக்கிறது. இவை அலையியற்றிபோல் செயற்படும் தன்மைகொண்டதால் பொதுவாக இந்தப் புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர்கள் பெருக்கிச் சுற்றுகளில் பயன்படுத்தப்படவில்லை. மற்றொரு காரணம் ஒரே மாதிரியான பண்புகளைக்கொண்ட புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர் தயாரிக்கப்படுவது மிகக்கடினம். மேலும், புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர்கள் வெப்பநிலைகளால் பெரிதும் தரமிழக்கின்றன. எனவே, அவற்றை மிகுதியாகப் பயன்படுத்துவதில்லை.

படம் 6.17-ல் ஒரு புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டரின் அமைப்பு இரு பகுதிகளாகப் பிரித்துக்காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. மேல் படத்தில் *P-n-P-n* ஆகிய நான்கு அடுக்குகளும் காண்பிக்கப் பட்டுள்ளன. இதை முற்கூறியபடி *P-n-P*, *n-P-n* ஆகிய இரு டிரான்சிஸ்டர்களாகக் கருதலாம். இவை ஒன்றுக்கொன்று எவ்வாறு இணைப்புடையதென்பதைப் படம் காட்டுகிறது. நடுவிலுள்ள *P*-பகுதி (P_2) கொக்கி அடுக்காகச் செயற்படுவதைக் கண்டோம்.

இவ்வாறு புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டரின் உள்ளமைப்பு அதன் செயலைக்கொண்டு ஒருவாறு விளக்கப்படுகிறது.

வினாக்கள்

1. ஒரு குறைகடத்தியைக் கொண்டு செய்யப்படும் கருவிகளின் வகைகள் யாவை? வெற்றிட வால்வைக்கொண்டு செயற் படும் கருவியைக் காட்டிலும் குறைகடத்திக் கருவிகள் எவ்வகையில் மேம்பாடுடையன?

2. ஒரு சந்தி டயோடு அமைப்புப்பற்றி படத்துடன் விளக்கி எழுது.

3. ஒரு சந்தி டிரான்சிஸ்டர் எவ்வாறு அமைந்துள்ளது என்பதைப் படத்துடன் விளக்குக,

4. வளர்க்கப்பட்ட (Grown) சந்தி டயோடுகளும், டிரான்சிஸ்டர் களும் எவ்வாறு தயாரிக்கப்படுகின்றன என்பதை விவரி.

5. உருக்கி ஒட்டிய அல்லது கலப்பு உலோகச் சந்தி டயோடு களும், டிரான்சிஸ்டர்களும் தயாரிக்கப்படும் முறையை விளக்கி எழுது.

6. புள்ளித்தொடு டயோடுகளும், டிரான்சிஸ்டர்களும் எவ்வாறு தயாரிக்கப்படுகின்றன

7. ஒரு புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர் செயற்படும் முறையையும், செயற் தத்துவத்தையும் விளக்கி எழுது. α-ன் மதிப்பு 2 ஐ விட மிகுதியாக இருப்பதை எப்படி விளக்குவாய்?

8. தூய ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகியவற்றிலிருந்து 0.4 செ.மீ நீளமும் 0.002 ச.செ.மீ குறுக்குப் பரம்பும் உடைய துண்டுகள் வெட்டப்படுகின்றன. இவற்றின் தடைகளை 300°k, 400°k வெப்பநிலைகளில் கணக்கிடு.

9. ஒரு ஜெர்மேனியம் படிகத்தில் 2×10^{14} பாஸ்பரஸ் அணுக்கள் [ஒரு க.செ.மீ...க்கு] உள்ளன. அறை வெப்பநிலையில் இதன் மின்தடை எவ்வளவு என்று கணக்கிடு. இது எந்த வகைக் குறைகடத்தி ஆகும். 0.6 ஓம்-செ.மீ மின்தடை கிடைக்க எவ்வளவு அணுக்களைக் கலக்கவேண்டும்.

10. ஒரு *P-n-P* சிலிக்கான் டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாய்ப்பகுதியின் தடிமன் 0.001 செ.மீ ஆகும் இதன் மின்தடை 3 ஓம் செ.மீ ஆகும். அறை வெப்பநிலையில் அடிவாய்த் தடிமனைப்போல் 10 மடங்கு ஊடுருவல் நீளத்தை மின்துளைகள்பெற அதன் வாழ்வு நேரம் எவ்வளவு இருக்கவேண்டும்.

7. P-N சந்திக் கோட்பாடு

அறிமுகம்

ஒரு *P*-வகைக் குறைகடத்திப் பொருள் மற்றொரு *N*-வகைக் குறைகடத்திப் பொருளுடன் மிக நெருக்கமாக ஒன்றையொன்று தொட்டுக்கொண்டிருக்குமாறு செய்யப்பட்டால் ஒரு *P-N* சந்தி உருவாகிறது. நடைமுறையில் இவ்வாறு ஒரு *P*-வகைப் பொருளையும், *N*-வகைப் பொருளையும் ஒன்றையொன்று தொடுமாறு பொருத்தி ஒரு *P-N* சந்தியை உருவாக்க முடியாது. ஏனெனில், இவ்வாறு உருவாக்கப்படும் சந்தியில் அணிக்கோவை அமைப்பானது தொடர்பற்று இருந்துவிடும். பொதுவாக, ஒரே படிகத்தின் ஒரு பகுதியில் தேவையான அளவு ஏற்பியணுத்தூசுகளைக் கலந்து, படிகத்தின் ஒரு பகுதி P-வகையாக மாற்றப்படுகிறது. அதே படிகத்தின் மற்றொரு பகுதி தேவையான அளவு கொடை அணுக்களைக் கலந்து *N*-பகுதியாக மாற்றப்படுகிறது. எனவே, இந்த இரண்டு பகுதிகளும் சந்திக்கும் இடத்தில் —சந்தியில் அணிக்கோவை தொடர்ச்சியாக இருக்கும்.

P-N சந்திகள் தயாரிக்கப்படும்போது பல்வேறு செய்முறைகள் பின்பற்றப்படுகின்றன. இவற்றில் வளர்க்கப்பட்ட சந்தி, புள்ளித்தொடு சந்தி, ஊடுருவலால் உருவாக்கப்பட்ட சந்தி, உருக்கி ஒட்டிய சந்தி என்று பல்வேறு வகைகள் உள்ளன. இவை தயாரிக்கப்படும் முறையையொட்டிப் பெயரிடப்படுகின்றன. இவற்றைத் தயாரிக்கும் முறைகள், இவற்றின் உள் அமைப்பு, செயற்படும்முறை ஆகியவை வேறொரு தலைப்பில் விரிவாகக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

இதுவரை ஒரு குறைகடத்தியின் மின்னோட்ட ஊர்திகள் எவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன என்றும், அவை மின்னோட்டத்தில் எவ்வாறு பங்குகொள்கின்றன என்றும் விளக்கமாகக் கூறப்பட்டன. ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் போன்ற குறைகடத்திகளைக்கொண்டு செய்யப்படும் கருவிகளின் மின்னோட்டத்தன்மைகளை இந்தக் குறைகடத்தியின் அடிப்படைக் குணங்களைக் கொண்டு அறிந்துகொள்ளலாம். குறைக்கடத்திக் கருவியான

டையோடிலோ அல்லது டிரான்சிஸ்டரிலோ ஒரு *P-N* சந்திப்பு ஒரு மிக முக்கியமான அடிப்படையான பகுதியாகும். இதன் தன்மைகளைப் புரிந்து கொண்டால்தாம் டிரான்சிஸ்டர்கள் செய்யப்படும்முறையை எளிதாக அறிந்துகொள்ள முடியும். எனவேதான், இந்தத் தலைப்பில் ஒரு *P-N* சந்திப்பின் கோட்பாடுகள் விளக்கமாகக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. இதனின்றும் மின்னழுத்தம், மின்னோட்டம் ஆகியவற்றின் சிறப்பியல்புகளுக்கான (Characteristics) கோவைகளைப் பெறலாம். ஆங்காங்கே கணக்கீடுகளுக்கான விளக்கங்களும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

P-N சந்தியிலுள்ள மின்னழுத்தத்தடுப்பு (Potential barrier)

N-வகைக் குறைகடத்திப் பொருளில் மிகுதியான தன்னியல்புக் கடத்து எலக்ட்ரான்களும், *P*-வகைக் குறைகடத்திப் பொருளில் மிகுதியான துளைகளும் இருந்தாலுங்கூட அவை இரண்டுமே மின்னூட்டச் சமநிலையில்தாம் இருக்கும். எந்த வகையிலும் மின்னூட்டம் கொண்டிருப்பதைக் காட்டாது. *N*-வகைக் குறைகடத்திப் பொருளில் அதன் பெரும்பான்மை ஊர்திகளான எலக்ட்ரான்கள் பெருமளவில் இருக்கும். இத்தோடுகூட ஒரு சில சிறுபான்மை ஊர்திகளான துளைகளும் இருக்கும். இதே போன்று *P*-வகைக் குறைகடத்திப் பொருளில் அதன் பெரும்பான்மை ஊர்திகளான துளைகள் பெருமளவில் இருக்கும். அத்தோடுகூட இங்குச் சிறுபான்மை ஊர்திகளான சில எலக்ட்ரான்களும் இருக்கும்.

ஒரு *P-N* சந்தி தோற்றுவிக்கப்படும்போது தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்களும், துளைகளும் படிக அமைப்புக்குள் எங்கு வேண்டுமானாலும் செல்லக்கூடிய தன்மையைக் கொண்டிருக்கும். *P-N* சந்தி தோற்றுவிக்கப்படும்போது *N*-பகுதியிலிருந்து சில எலக்ட்ரான்கள் சந்தியைக்கடந்து *P*-பகுதிக்குள் சென்றுவிடும். அதே நேரத்தில் *P*-பகுதியிலிருந்து சில எலக்ட்ரான்கள் *N*-பகுதிக்கு வரலாம். ஆனால், *N*-பகுதியிலிருந்து *P*-பகுதிக்குச் செல்லும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கைதாம் மிகுதியாக இருக்கும். ஏனெனில், *N*-பகுதியில்தான் எலக்ட்ரான்களின் செறிவு *P*-பகுதியைவிட மிகுந்திருக்கும். *P*-பகுதியிலிருந்து *N*-பகுதிக்கு மிக மிகச் சிறிய எண்ணிக்கையுள்ள எலக்ட்ரான்களே சந்தியைக் கடந்து வரும்.

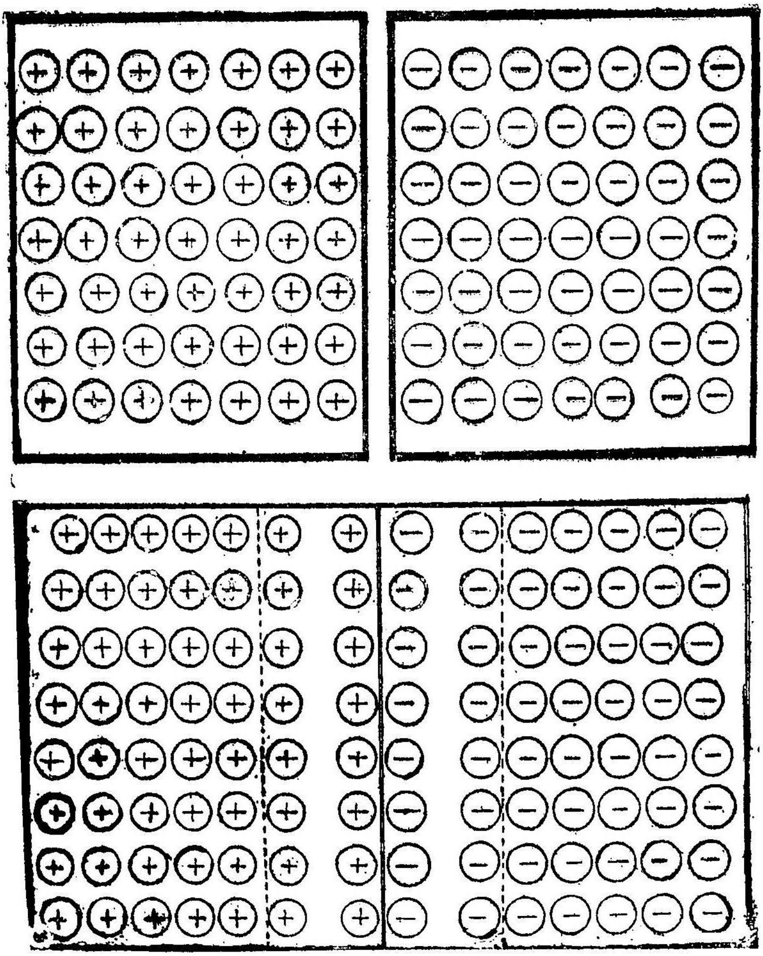
தனித்த மின் ஊர்திகள் ஒரு பகுதியிலிருந்து மற்றொரு பகுதிக்கு, இரு பகுதிகளிடையேயுள்ள செறிவு வேறுபாட்டால் கடந்து செல்வதைத்தான் 'ஊடுருவல்' (diffusion) என்கிறோம்.

தனித்த எலக்ட்ரான்கள் அல்லது துளைகள் போன்ற மின் ஊர்திகள் ஒரு பகுதியிலிருந்து மற்றொரு பகுதிக்கு ஊடுருவிச் செல்லும் விதமானது, இரு பகுதிகளுக்கிடையேயுள்ள ஊர்திச் செறிவு வேறுபாட்டைப்பொறுத்து அமையும். ஊடுருவிச் செல்வதானது மின்னழுத்த வேறுபாட்டினால் தோற்றுவிக்கப்பட மாட்டாது. எனவேதான் எலக்ட்ரான்கள் செறிவு மிகுந்த N-வகைப்பகுதியிலிருந்து செறிவு குறைந்த P-வகைப் பகுதிக்கு ஊடுருவிச் செல்கின்றன. இதேபோன்று P-பகுதியிலிருந்து துளைகள் N-பகுதிக்குச் சந்தியைக்கடந்து ஊடுருவிச் செல்லும். N-பகுதியிலிருந்து சந்தியைக் கடந்து P-பகுதிக்குள் நுழைந்து விட்ட எலக்ட்ரான்கள் அங்குப் பெருமளவில் செறிவு மிகுந்துள்ள துளைகளை எதிர்கொள்ளும். எனவே, இந்த எலக்ட்ரான்கள் நேர் மின்னூட்டங்கொண்ட துளைகளுடன் ஒன்றிவிடுவதற்கான பெரும் வாய்ப்பைப் பெறுகின்றன. எனவே, P-பகுதிக்குள் நுழைந்த எலக்ட்ரான்கள் விரைவாகத் துளைகளுடன் ஒன்றி மறைந்துவிடுகின்றன. இதேபோன்று N-பகுதிக்குள் நுழைந்த துளைகளும் செறிவுமிக்க எலக்ட்ரான்களை எதிர்கொண்டு ஒன்றி விடப் பெரும் வாய்ப்புடையதாயிருக்கும். எனவே, இத் துளைகள் எலக்ட்ரான்களுடன் ஒன்றி விரைவாக மறைந்துவிடுகின்றன. இவ்வாறு சந்தியைக் கடந்தவுடன் இரு பக்கங்களிலும் மின் ஊர்திகள் ஒன்றோடொன்று ஒன்றி மறைந்துவிடுவதால் சந்தியை அடுத்து இரு பக்கங்களிலும் நகரும் மின் ஊர்திகள் இருக்க மாட்டா. ஆனால், N-பகுதியில் அயனியாக்கப்பட்ட கொடை யணுக்கள் நேர் மின்னூட்டத்துடனும், P-பகுதியில் அயனி யாக்கப்பட்ட ஏற்பியணுக்கள் எதிர் மின்னூட்டத்துடனும் சந்தியை ஒட்டிய பகுதிகளில் இருக்கும். ஒவ்வொரு கொடை யணுவும் ஓரலகு நேர் மின்னூட்டத்தைப் பெற்றிருக்கும். இவை அயனியாக்கப்பட்ட (ஓர் எலக்ட்ரானை இழந்த) ஆர்சனிக் அணுக்களாகும். இதேபோன்று P-பகுதியில் அயனியாக்கப்பட்ட ஒவ்வோர் ஏற்பியணுவும் (ஓர் எலக்ட்ரானை எடுத்துக்கொண்ட) ஓரலகு எதிர் மின்னூட்டத்தைக் கொண்டிருக்கும். இவை அயனியாக்கப்பட்ட இண்டியம் அணுக்களாகும்.

இந்த அயனிகள் இடம் விட்டு இடம் நகராதவை. ஏனெனில், இவை படிக அமைப்பில் வலுவாக பிணைப்புக்கொண்டிருக்கும். அத்தோடு நிறை மிகுந்தவையுங்கூட.

சந்திக்கு அருகில் நகராத மின்னூட்டங்களை மட்டும் பெற்றிருக்கக்கூடிய பகுதி 'நெருக்கமிழந்த அடுக்கு' (depletion layer) என்று சொல்லப்படுகிறது. இதுவே 'கடக்கும் பகுதி'

(Transition region) என்றும் கூறப்படுகிறது. ஏனெனில், இப் பகுதியிலுள்ள எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் மறைந்துவிடுவதால் இந்தப் பகுதி நெருக்கமிழந்து இருக்கும்.



படம் 7.1
ஒரு சந்தியில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு தோன்றுதல்

ஊடுருவலாலும் ஒன்றிப்பினாலும் தோற்றுவிக்கப்பட்ட நெருக்கமிழந்த அடுக்கில் N-பகுதியில் நகரா நேர் மின்னூட்டங்களும், P-பகுதியில் அதே அளவுக்கு நகரா எதிர் மின்னூட்டங்

களும் இருக்கும். எனவே, N-பகுதி நேர் மின்னூட்டம்பெற்றும், P-பகுதி எதிர் மின்னூட்டம்பெற்றும் இருக்கும். ஆகையால், இவ்விரு பகுதிகளுக்குமிடையே ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாடு தோன்றும். N-பகுதி உயர்மின் அழுத்தத்திலும், P-பகுதி தாழ் மின்னழுத்தத்திலும் இருக்கும். இந்த மின்னழுத்த வேறுபாடு தான் 'மின்னழுத்தத் தடுப்பு' (Potential barrier) என்று கூறப்படு கிறது. இதுவேதான் சில நேரங்களில் 'தொடு மின்னழுத்தம்' (Contact potential) என்றும் கூறப்படுகிறது.

இந்த மின்னழுத்த வேறுபாடானது மின்னூர்திகளின் சந்திப்பைக்கடந்து இருபகுதிக்குள்ளும் மேலும் நுழைவதைத் தடுக்கும்வகையில் அமைந்திருக்கும். எனவேதான், இது 'மின் னழுத்தத் தடுப்பு' எனப்படுகிறது.

முடிந்தளவு மிகுந்த இயக்க ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும் எலக்ட் ரான்கள்கூட இந்த மின்னழுத்தத்தடுப்பைத் தாண்டி அடுத்த பகுதிக்குள் நுழையமுடியாதவாறு ஒரு சமநிலை நிறுவப்படும். இந்த மின்னழுத்தத் தடுப்புக்கான ஒரு கோவை பின்வரும் ஒரு பகுதியில் தருவிக்கப்பட்டுள்ளது.

ஆற்றல் மட்டங்களை மின்னழுத்தமாகக் குறிப்பிடுதல்

முன்னுள்ள ஒரு தலைப்பில் ஒரு குறைகடத்தியில், ஊர்திகளின் சமநிலைச்செறிவுகள் கீழ்வரும் கோவைகளால் தரப்படும் எனக் காட்டப்பட்டது.

$$n = N_c \, e^{-(E_c - E_f / KT)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \; n \text{ வகை } 7.1$$

$$p = N_v \, e^{-(E_f - E_v / KT)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \; p \text{ வகை } 7.2$$

N_c - கடத்து ஆற்றல் பட்டைகளில் குவான்டம் நிலைகளின் விளைவு அடர்த்தி.

N_v — இணைதிற ஆற்றல் பட்டையில் குவான்டம் நிலைகளின் விளைவு அடர்த்தி.

E_c — கடத்துப் பட்டையின் கீழ்வரம்பு ஆற்றல் மட்டம்.

E_v — இணைதிறப் பட்டையின் மேல்வரம்பு ஆற்றல் மட்டம்.

E_f — ஃபெர்மி ஆற்றல் மட்டம்.

தூய குறைகடத்திக்கு,

$$n_i = (N_c\ Nv)^{\frac{1}{2}}\ e^{-E_g / 2KT} \quad \ldots 7{\cdot}3$$

E_g — (பட்டை) இடைவெளி ஆற்றல் ஆகும்.

விளைவு நிறைகளிடையேயுள்ள வேறுபாட்டைத் தள்ளிவிட்டால் N_c-யும் Nv-யும் சமமாகிவிடுமென்று முன்பே காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. சமன்பாடு 7·3ஆல் சமன்பாடு 7·1ஐயும் 7.2ஐயும் வகுக்க,

$$\frac{n}{n_i} = e^{-\left(E_c - E_f - \frac{E_g}{2}\right) / KT} \quad \ldots 7{\cdot}4$$

$$\frac{p}{n_i} = e^{-\left(E_f - E_v - \frac{E_g}{2}\right) / KT} \quad \ldots 7{\cdot}5$$

இணைதிறப் பட்டையின் மேல்வரம்பு ஆற்றலான E_v-ஐ குறிப்பீட்டு ஆற்றல் மட்டமாகக் (Reference energy level) கொண்டு $E_v = 0$என எழுதலாம். இதனால், $E_c = E_g$ ஆகும்.

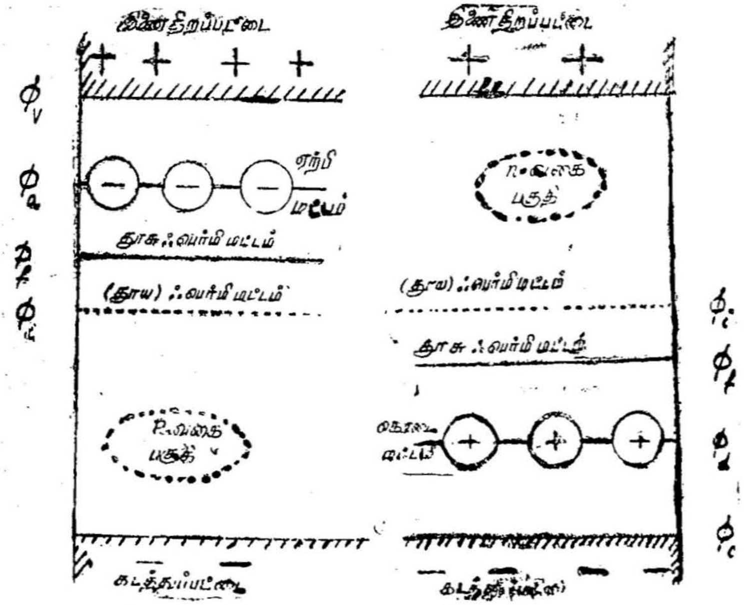
$$n = n_i\ e^{+\left(E_f - \frac{E_g}{2}\right) / KT} \quad \ldots 7{\cdot}6$$

$$p = n_i\ e^{\left(\frac{E_g}{2} - E_f\right) / KT} \quad \ldots 7{\cdot}7$$

இந்த முடிவுகளின்படி, ஊர்திகளின் செறிவுகள் ஆற்றல் பட்டையின் நடுப்புள்ளியிலிருந்து (தூய குறைகடத்தியின் ஃபெர்மி மட்டத்திலிருந்து) ஃபெர்மி மட்டத்தின் விலக்கத்தினால் குறித்துக் காட்டலாமென்று தெரிகிறது. மேலும், $E_f\ \frac{E_g}{2}$ ஆக இருக்கும் போது $n = p = n_i$ என்பது தெளிவு.

ஆற்றலானது பொதுவாக எலக்ட்ரான் வோல்ட்டில் அல்லது qv-ல் குறிக்கப்படுகிறது. q-என்பது எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம். V-என்பது மின்னழுத்தம்—வோல்ட்களில். எனவே, சமன்பாடுகள் 6ஐயும் 7ஐயும் இதேமுறையில் எலக்ட்ரான் வோல்ட்டில் குறிப்பது சிறந்தது. இதைப் பின்வருமாறு விளக்கலாம். ஓர் எலக்ட்ரானை இணைதிறப் பட்டையிலிருந்து கடத்துப் பட்டைக்குக் கொண்டுவரத் தேவையான ஆற்றல், ஒரு q-மின்

ஊட்டத்தை V-மின்னழுத்தத்தை எதிர்த்துக்கொண்டுவரச் செய்யப்படும் வேலைக்குச் சமம் (V-என்பதை இரு ஆற்றல் பட்டைகளுக்குமிடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடாகக் கொண்டால்) என்று கொள்ளலாம். எனவே, ஆற்றல் பட்டைப் படத்தில் ஆற்றல் மட்டங்களை ஏதாவதொரு அடிப்படையில் நிலை மின்னழுத்தங்களாகக் குறிக்கலாம். இதைக் கைக்கொள்வதற்காகப் பின்வருவனவற்றை வரையறுத்துக் கொள்வோம்.



படம் 7.2
மின்னழுத்தங்கள்

$$E_f = -q\varnothing \text{ எலக்ட்ரான் வோல்ட் } \ldots\ldots\ldots\ldots 7\ 8$$

$$E_g/2 = E_{fi} = -q\phi \text{ எலக்ட்ரான் வோல்ட் } \ldots\ldots\ldots\ldots 7 \cdot 9$$

$\varnothing$ – என்பது ஃபெர்மி மட்டத்திற்கு நேரான மின்னழுத்தம்.

ϕ — என்பது தூய குறைகடத்தியில் ஃபெர்மி மட்டத்திற்கு நேரான நிலை மின்னழுத்தம்.

எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் எதிர்க்குறி கொண்டதாகையால் இவையும் எதிர்க்குறிகொண்டதாக இருக்கின்றன, சமன்

பாடுகள் 7·8-லும், 7·9-லும் இந்த மின்னழுத்தக் குறிப்பீடு களைப் பதிலீடு செய்தால்,

$$n = n_i e^{q(\phi - \varnothing)/KT} \quad \ldots \quad 7\cdot10$$

$$p = n_i e^{q(\varnothing - \phi)/KT} \quad \ldots \quad 7\cdot11$$

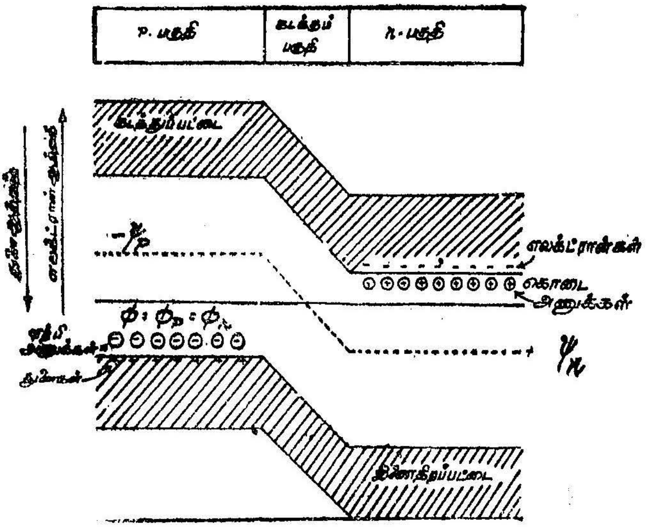
இந்தக் குறிப்பீட்டைப் படம் 7·2 எடுத்துக்காட்டுகிறது. இதில் மிக முக்கியமானதென்னவென்றால் ϕ, $(\phi + V$ போன்ற) எந்த ஒரு மதிப்பையும் பெறமுடியும். ஆனால், $\varnothing$-ன் மதிப்பு அதற்கு ஏற்றாற்போல் மாறிவிடும்.

சமநிலையில் P-N சந்தி

ஒரு N-வகைக் குறைகடத்திப் படிகமும், P-வகைக் குறை கடத்திப் படிகமும் ஒன்றையொன்று தொடுமாறு கொண்டுவரப் படுவதாகக் கொள்வோம். அவை தொடும் பரப்பில் ஒரு சந்தியை (Junction) தோற்றுவிக்கின்றன. இந்தச் சந்தியைத் தோற்று விக்கும் இருவகைப் பரப்பும் சீரான அமைப்புக் கொண்டிருப்ப தாகக் கொள்ளலாம். ஆனால், வரம்பில் திடீரென்று P-வகைத் தூசு மின்கடத்தலிலிருந்து N-வகைத் தூசு மின்கடத்தலுக்கு மாறும் வகையாக அமைந்திருக்கும். P-வகைப் பரப்பில் துளை களின் செறிவு மிகுதியாக விஞ்சியிருக்கும். இது ஏறத்தாழ மிகுதி ஏற்பி அணுத் தூசு அடர்த்திக்குச் சமமாக இருக்கும். ஃபெர்மி மட்டம் இணைதிறப் பட்டைக்கு அருகிலிருக்கும். இதற்கு மாறாக N-பரப்பில் எலக்ட்ரான்களின் செறிவு மிகுதியாக விஞ்சியிருக்கும். இது ஏறத்தாழ மிகுதி கொடை அணுத் தூசு அடர்த்திக்குச் சமமாயிருக்கும். ஃபெர்மி மட்டம் கடத்துப் பட்டைக்கு அருகிலிருக்கும்.

இரண்டு பரப்புகளும் ஒன்றையொன்று மிக நன்றாகத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும்போது வெளியிலிருந்து எந்த மின் னழுத்தமும் கொடுக்கப்படாதநிலையில் ஃபெர்மி மட்டமானது இரு பரப்புகளிலும் மாறாதிருக்கவேண்டும். சந்தியைக் கடக்கும் போதும் இந்த ஃபெர்மி மட்டம் மாறக்கூடாது. அப்படி மாறாமலே இருக்கும். அப்படி இல்லாவிட்டால் சந்தியின் ஒரு பக்கத்திலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் மறுபக்கத்திலுள்ள எலக்ட் ரான்களைவிட மிகுதியான ஆற்றலைப் பெற்றிருப்பதாகிவிடும். அப்படியிருந்தால் ஆற்றல்கள் மிகுதியான பக்கத்திலிருந்து குறைந்த பக்கத்திற்கு மாற்றப்பட்டு மட்டங்கள் இரு பக்கங்

களிலும் சரிசமமாக்கப்படும். இந்த ஃபெர்மி மட்டம் மாருது இருபக்கங்களிலும் ஒரேமாதிரியாகத்தான் இருக்கவேண்டும் என்பதை வேதியியல் மின்னழுத்த முறையிலும் மெய்ப்பிக்கலாம். எனவே, ஒரு *P-N* சந்திப்புக்கான ஆற்றல் அமைப்புகள் படம் 7·3-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளதுபோல் இருக்கும். ஃபெர்மி மின்னழுத்தம் Ø சந்தியின் குறுக்கே (கடக்கும் பரப்பில்) மாருது வைத்திருக்க ஆற்றல் பட்டைகள் ஒரு சிறிது இடம் பெயர்ந்து இருக்கும். இதுவும் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஆற்றல்



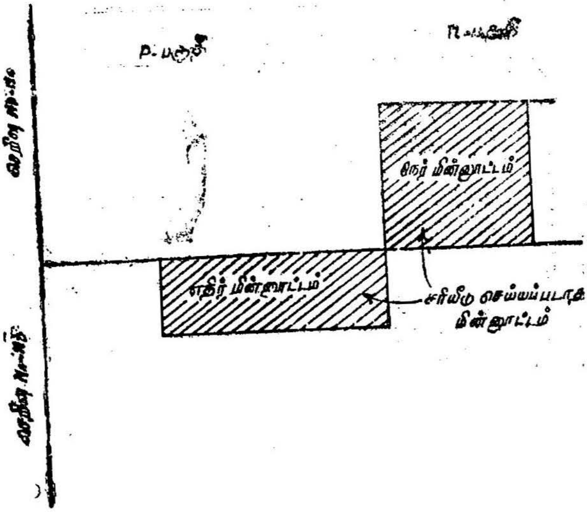
படம் 7·3

அளவீடுகளில் எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் குறைந்தநிலை ஆற்றல் மட்டத்திலேயே இருக்கின்றன.

கடக்கும் பரப்பின் குறுக்கே ஒரு நிலை மின்னழுத்தம் ϕ- இருக்கும். இந்த நிலை மின்னழுத்தம் ϕ, $(\phi_n - \phi_p)$க்குச் சமமாக இருக்கும். இதன் பொருள் என்னவென்முல் இந்தக் கடக்கும் பரப்பில் ஒரு மின்புலமாவது இருக்கவேண்டுமெனத் தெரிகிறது. சமநிலையில் ஒரு *P-N* சந்திப்பின் உள்ளே ஒரு மின்புலம் இருக்கிற தென்பதைக் கீழ்க்கண்டவாறு விளக்கலாம். இதற்காக இரண்டு பரப்புகளும் ஒன்றையொன்று தொடுமாறு கொண்டுவரப் படுவதற்கு முன்னல் எப்படியிருந்தது என்பதைக்கொண்டு இதை

விளக்கலாம். இதில் மின்னழுத்தம் எதுவுமில்லையென்றே கொண்டிருக்கிறோம்.

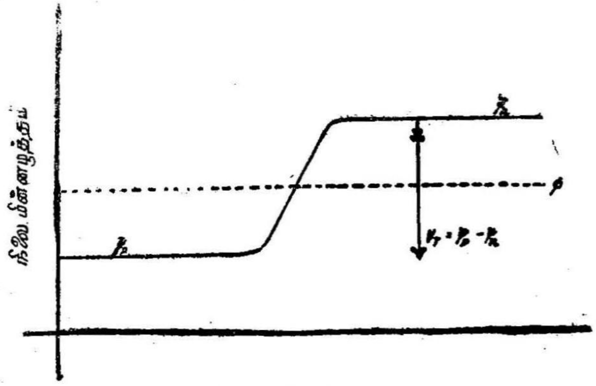
இரு பரப்புகளும் ஒன்றையொன்று தொட்டுக் கொண்டிருக்குமாறு செய்யப்படுவதற்கு முன்னால்இந்த இரு பரப்புகளுமே மின்னூட்டமற்றிருக்கும். ஏனெனில், அயனியாக்கப்பட்ட தூசு அணுக்களின் அடர்த்தி ஊர்திகளின் செறிவால் சரிசெய்யப் பட்டிருக்கும். இவை ஒன்றையொன்றுத் தொடுமாறு செய்யப் படும்போது P வகைப் பரப்பிலுள்ள துளைகள் சந்தியைக் கடந்து



படம் 7·4
P-N சந்தியில் சரியீடு செய்யப்படாத மின்னூட்ட அடர்த்திகள்

N-வகைப் பரப்புக்குள்ளே ஊடுருவிச்செல்லும். ஏனெனில், N-வகைப் பரப்பில் துளைகளின் செறிவு மிகக்குறைந்ததாக இருக்கும். இதேபோன்று N-பரப்பிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் P-பரப்பிற்குச் சந்தியைக் கடந்து ஊடுருவிச் செல்லும். P-பரப்பில் எலக்ட்ரான்களின் செறிவு மிகக் குறைந்ததாக இருக்கிறதென்பது தெரிந்ததே. அணிக்கோவையில் தூசு அயனிகள் நகராது நிலையாக இருக்கும். இவை இடம்விட்டு இடம் நகர முடியாதவை. எனவே, எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் சந்திப்பைக்கடந்து ஊடுருவிச் சென்று விட்டபிறகு இதன் விளைவாகச் சந்தியின் இரு பக்கங்களிலும் சரியீடு செய்யப்படாத மின்னூட்ட அடர்த்திகள் தோன்றியிருக்கும். இது படம் 7·4-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

இந்த மின்னூட்டங்கள் ஒரு எதிர்ப்பு மின்புலம் Eஐத் தோற்றுவிக்கும். இந்த மின்புலம் மேலும் ஊர்திகள் சந்தியைக் கடந்துவராதவாறு தடுத்துவிடும். இந்தச் சமநிலையை இவ்வாறு எடுத்துக்கொள்ளலாம். சந்திப்பின் குறுக்கே இரண்டு சமமான எதிரெதிர் மின்னோட்டங்கள் கடந்துசெல்கின்றன. கடக்கும் பகுதியில் மொத்த மின்னோட்டம் சுழியாக இருக்குமாறு இவை கடந்துசென்றுவிடுகின்றன. இதில் ஒரு கூறு ஊர்திகளின் ஊடுருவலாலானது. இது 'ஊடுருவல் மின்னோட்டம்' எனப் படும். மற்றொரு கூறு உள்ளே தோற்றுவிக்கப்பட்ட மின்புலத்தின் செயலாற்றோன்றும் நகர்வு மின்னோட்டமாகும். படம் 7·5-ல் மின்னூட்ட அடுக்கின் இரு பக்கங்களிலும் துளை, எலக்ட்ரான்



படம் 7·5
சமநிலையில் உள்ள சந்தியில் நிலை மின்னழுத்தம்

செறிவுகள் சுழியாக இருக்கும்படி காட்டப்பட்டுள்ளன. இந்த மின்னூட்டப் பங்கீடு எவ்வாறு உண்மையில் இருக்கின்றது என்பதைப் பாய்சான் (Poisson) சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்திக் கண்டறியலாம். இதன்படி நிலைமின்னழுத்தம் படம் 7·5-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் வளைகோடாக அமைந்திருக்கக் காணலாம். மேலும் இதில் கடக்கும் பரப்பின் மின்தேக்கு திறனும் கணக் கிடப்படும்.

சமநிலையில் மின்னழுத்தத்தடுப்பு அல்லது மின்னழுத்தத்திற் கான (contact potential) கோவையைக்காணச் சமன்பாடுகள் 7·10-ம், 7·11-ம் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இரு பக்கங்களிலும் லாகிரிதம் காண,

$$\phi_n = \varnothing + \frac{KT}{q} \log \frac{n_n}{n_i} \qquad \ldots 7{\cdot}12$$

$$\phi_p = \varnothing - \frac{KT}{q} \log \frac{p_p}{n_i} \qquad \ldots 7{\cdot}13$$

மின்னழுத்தத்தடுப்பு அல்லது தொடு மின்னழுத்தம்.

$$V_t = \phi_n - \phi_b$$

$$V_T = \frac{KT}{q} . \log \frac{n_n P_p}{n_i^2} \qquad \ldots 7{\cdot}14$$

தூசு அணுச் செறிவுகளுக்கான கோவைகளை அதில் பதிலீடு செய்தால்,

$$V_T = \frac{KT}{q} . \log \frac{N_d N_a}{n_i^2} \qquad \ldots 7{\cdot}15.$$

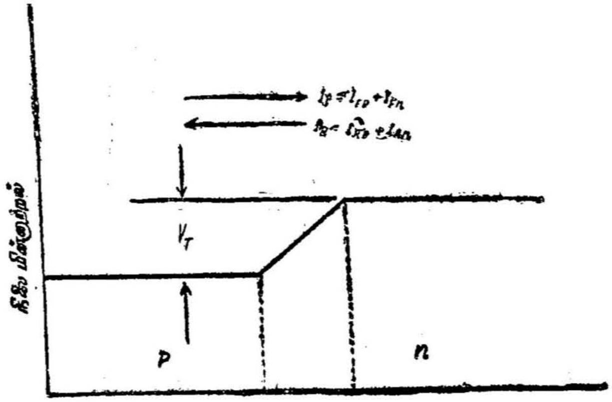
சந்திப்பின் இருபக்கங்களிலும் மின்தடை குறைவாயிருந்தால் தொடு மின்னழுத்தத்தின் மதிப்பு பெருமமாயிருக்குமென்பதைச் சமன்பாடு 7.15-லிருந்து தெரிந்துகொள்ளலாம். இதையே வேறு வகையாகச் சொன்னால் இரு பரப்புகளிலுமுள்ள ஃபெர்மி மட்ட மின்னழுத்தங்களிடையே எவ்வளவுக்கெவ்வளவு வேறுபாடு இருக்கிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு சமநிலைத் தொடு மின்னழுத்தம்மிகுந்திருக்கும். கொள்கை அளவில் இந்தத் தொடு மின்னழுத்தம் அடையக்கூடிய பெருமளவு குறைகடத்தியின் பட்டை இடைவெளி மின்னழுத்தத்திற்கு (band gap potential) ஏறத்தாழச் சமமாயிருக்கும். ஒரே அளவான தடைகளையுடைய சிலிக்கான் *P-N* சந்திப்பில் தொடு மின்னழுத்தம் அதேபோன்ற ஜெர்மேனியம் *N-N* சந்திப்பின் தொடுமின்னழுத்தத்தைவிட மிகுதியாக இருக்குமென்பது தெளிவு.

கொடுக்கப்பட்ட வெளி மின்னழுத்தத்தோடு P-N சந்தி

சமநிலையில் சந்தியின் குறுக்கே மொத்த மின்னோட்டம் சுழியாக இருக்குமென்று கூறப்பட்டது. இந்த மின்னோட்டம் இரு கூறுகளால் ஆக்கப்பட்டது. முதல் கூறு சந்தியின் இரு பக்கங்களிலுமிருக்கும் ஊர்திகளின் செறிவுவாட்டத்தால், ஒரு பக்கத்துப் பெரும்பான்மை ஊர்திகள் மறுபக்கத்திற்குக் கடக்கும் பரப்பை ஊடுருவிச்செல்வதால் தோன்றுவது.

இது ஊடுருவல் மின்னோட்டம் எனப்படும். இரண்டாவது கூறு உள்ளே தோற்றுவிக்கப்பட்ட மின்புலத்தால் தோன்றும் நகர்வு மின்னோட்டம். இந்த இரண்டின் குறியீட்டுத்தொகையே மொத்த மின்னோட்டமாகும். இது படம் 7.6-ல் காண்பிக்கப் பட்டுள்ளது. $I_F = I_R$ ஆகும். படத்தில் அம்புக்குறிகள் மின்னோட்டத்தின் எண்ணளவைக் குறிக்கும். இந்த மின்னோட் டங்கள் எலக்ட்ரான் மற்றும் துளைகள் ஆகிய இரண்டாலும் ஏற்பட்டவை.

முதலில் துளையினால் மட்டும் ஏற்படும் மின்னோட்டத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். *P*-பகுதியிலிருந்து *N*-பகுதிக்கு இருக்கும் துளைச்செறிவு வாட்டத்தால் இந்த மின்னோட்டம் ஏற்படுகிறது. மின்னழுத்தமேட்டில் (Potential hill) (V_T) ஏறுவதற்குப்



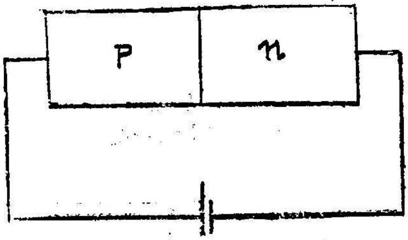
படம் 7.6
P-N சந்தியில் மின்னோட்டம்

போதுமான அளவு ஆற்றலைப்பெற்றுள்ள துளைகள் மட்டுமே—தொடு மின்னழுத்தத்தை எதிர்த்துச்செல்லத் தேவையான அளவு ஆற்றலைப் பெற்றுள்ள துளைகள் மட்டுமே—(கடக்கும் பரப்பை)--சந்தியைக்கடந்து *N*-பகுதியில் நுழைகின்றன. இதனால் தோன்றும் மின்னோட்டத்தைத்தான் i_{Fp} என்று குறிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்தத் துளைகள் இறுதியாக எலக்ட் ரான்களுடன் மீண்டும் ஒன்றிவிடுகின்றன.

இதேபோன்று *N*-பரப்பிலுள்ள துளைகள் சந்திக்கு நகர்ந்து வருகின்றன. அவை சந்தியைக் கடந்து— மின்னழுத்த மேட்டில் கீழ் நோக்கி இறங்கி—*P*-பரப்பினுள் நகர்ந்து விடுகின்றன.

இதனால் தோன்றும் மின்னோட்டம் i_{RP} எனக்குறிப்பிடப்பட்டுள்ளது இந்த i_{RP}-யும் i_{FP}-யும் சமமாயும் எதிர்த்திசையிலும் இருக்கும். ஊடுருவும் நீளம் L_p, N-பகுதி நீளத்தைவிடக் குறைவாக இருப்பதால், L_p நீளத்திற்குள் ஊடுருவும் துளைகள் மட்டுமே சந்தியை அடைகின்றன. L_pஐவிட மிகுந்த தொலைவிலுள்ள துளைகள் சந்தியை அடையுமுன் எலக்ட்ரான்களுடன் ஒன்றிவிடுகின்றன. இதேபோன்று எலக்ட்ரான்களுக்கும் விளக்கிக் கூறலாம். இங்கு மின்னழுத்த மேடு (Potential hill) தலைகீழாக இருக்கும்.

ஒரு மின்னழுத்தம் வெளியிலிருந்து கொடுக்கப்படும்போது மேலேசொல்லப்பட்ட மின்னோட்டமானது அழிக்கப்படுகிறது.

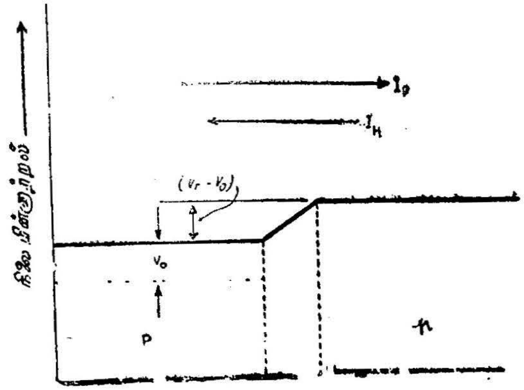


படம் 7.7
முன்னோக்கிய பயாசு கொடுக்கப்பட்ட P-N சந்தி

N-பகுதிக்கும் P-பகுதிக்கும் இடையே ஒரு மின்னழுத்தம் V_0 கொடுக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இது படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் P-பக்கம் + ve ஆகவும், N-பக்கம் -ve ஆகவும் இருக்கும்படி ஒரு பாட்டரி இணைக்கப்படுகிறது. இதனால் P-பரப்பின் நிலை மின்னழுத்தம் உயர்ந்துவிடும். இதன் விளைவாக மின்னழுத்த மேட்டின் உயரம் V_0 அளவு குறைந்துவிடும். இது படம் 7.7-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. மேட்டின் உயரம் குறைவதினால் இன்னும்பல துளைகள் சந்தியைக் கடந்து P-பரப்பிலிருந்து N பரப்பிற்குச் செல்லும். இதேபோன்று N-பரப்பிலிருந்து இன்னும் பல எலக்ட்ரான்கள் P-பரப்பிற்குச் சந்தியைக்கடந்து வந்து செல்லும். இதன் விளைவாக செறிவுவாட்ட மின்னோட்டம் I_F (concentration gradient current) சமநிலை மதிப்பைவிடப் பன்மடங்கு மிகுதியாகி விடும். ஆனால், மின்னோட்டம் I_R சமநிலை மதிப்பிலிருந்து மாறாது இருந்துவிடும். கடக்கும் பரப்பைத் தாண்டி எளிதாக ஊடுருவிச்செல்லும் ஊர்திகளின் எண்ணிக்கை மாறாமலேயே இருப்பதால் மின்னோட்டம் I_R-ன் மதிப்பு மாறாமலே

யிருக்கிறது. எனவே, I_f மின்னோட்டத்தின் எண்ணளவு V_0-ஐப் பொருத்தே அமைந்திருக்கும் என்பது தெளிவு. பின்னால் இதனை மெய்ப்பித்துக் காட்டுவோம்.

இவ்வாறு துளைகளும் எலக்ட்ரான்களும் சந்தியைப்பெருமளவு கடந்துசெல்வதற்கு ஏற்றவாறு மின்னழுத்த மேட்டின் உயரத்தைக் குறைத்து உதவிபுரியும் வெளி மின்னழுத்தம் V_0-க்கு 'முன்னோக்கிய பயாசு' (forward bias) என்று பெயர். இப்போது *P-N* சந்திப்பு முன்னோக்கிய பயாசில் இருப்பதாகச் சொல்லப்படுகிறது.

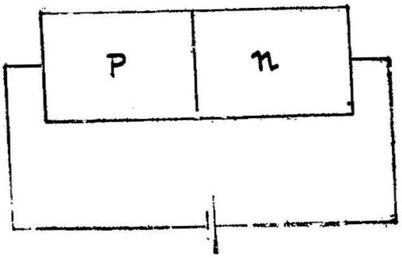


படம் 7·8
முன்னோக்கிய பயாசில் மின்னோட்டம்

கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தம் V_0-ன் முனைகள் மாற்றிய மைக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். படத்தில் காட்டியுள்ளது போல் *N*-பரப்பிற்கு மின்கல அடுக்கின் நேர் முனையும் *P*-பரப் பிற்கு எதிர்முனையும் இணைக்கப்படுகின்றன. இப்போது *N*-பரப்பு *P*-பரப்பைவிட மிகுதியாக நேர்மின்னழுத்தம் கொண்டிருக்கும். இந்த நிலை 'திருப்பு பயாசு' (reverse bias) என்று சொல்லப்படு கிறது. இது படம் 7.9-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

இங்கு மின்னழுத்தமேட்டின் அல்லது தடிப்பின் உயரம் V_0 அளவு மிகுதியாக்கப்படுகிறது. இதனால், *P*-பகுதியிலுள்ள துளைகள் இந்த மேட்டின்மீது எளிதாக ஏறிச்செல்ல முடியாது. எனவே, முன்னோக்கிய மின்னோட்டம்-I_F மிகக் குறைந்த

அளவுக்குக் குறைந்துவிடுகிறது. எதிர்த்திசை மின்னோட்டம் I_R-மாறுமலே இருக்கும். மேலும் இது ஊடுருவல் நீளத்திற்குள்ளே N-பகுதியிலிருந்து ஊடுருவிச்செல்லும் துளைகளின் எண்ணிக்கையை மட்டுமே பொறுத்திருப்பதால், I_R-மாறுவதில்லை. உண்மையில் V_T- அளவுக்குச் சமமான மிகக்குறைந்த திருப்பு மின்னழுத்தத்தில் I_F சற்றே அதிகரித்து உடனடியாக ஒரு மாறுமதிப்பை-தெவிட்டிய மதிப்பை-அடைந்துவிடுகிறது. (V_0-மிகுதியாக ஆகும்போது). ஏனெனில், மின்னழுத்தமேடு முதலில் மிகவும் ஏற்றமாக அமைந்திருப்பதினால் இத்தகைய விளைவு தோன்றுகிறதென்பதை விளக்கலாம்.

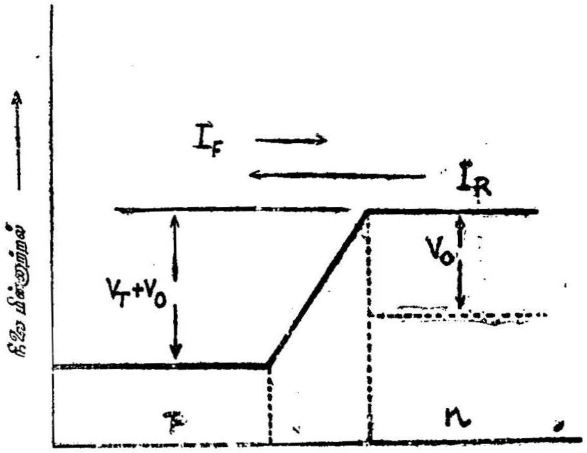


படம் 7.9
திருப்பிய பயாசு கொடுக்கப்பட்ட P-N சந்தி

மேலே கொடுக்கப்பட்ட விளக்கத்திலிருந்து ஒரு P-N சந்தி ஒரு மிகநல்ல அலைதிருத்திக்கருவியாகப் (Rectifying device) பயன்படுத்தப்படலாமென்று தெளிவாகத் தெரிகிறது. அலை திருத்திக்கருவி என்பது ஒருதிசையில் மட்டும் மின்னோட்டத்தை அனுமதித்து எதிர்த்திசையில் அதைத் தடுத்துவிடும் அமைப்பாகும். P-பகுதி மிகக்குறைந்த மின்தடை உள்ளதாகக் கொண்டால் அதிலுள்ள சிறுபான்மை ஊர்திகளான எலக்ட்ரானின் செறிவு தள்ளிவிடத்தக்க அளவுக்குக் குறைவாக இருக்கும். P-பகுதியின் மின்தடை 0.01 ஓம்-செ.மீ இருக்கலாம். அதே நேரத்தில் N-பகுதியின் மின்தடை 10 ஓம்-செ.மீ அளவிலிருந்தால் N-பகுதியிள்ள சிறுபான்மை ஊர்திகளான துளைகளின் செறிவைத் தள்ளிவிட முடியாது. முன்னோக்கிய பயாசு நிலையில் முன்னோக்கிச்செல்லும் மின்னோட்டமானது முழுவதும் துளை ஓட்டத்திலேயே இருக்கும். ஏனெனில், P-பகுதியில் துளைச்செறிவு N-பகுதியில் எலக்ட்ரான் செறிவைவிடப் பல மடங்கு மிகுதியாக இருப்பதே ஆகும். எனவே, முன்னோக்கிய

திசையில் மிகுந்த மின்னோட்டம் இருக்குமென்று நாம் எதிர் பார்க்கலாம். இந்த மின்னோட்டம் வெளியிலிருந்து கொடுக்கப் படும் மின்னழுத்தம் V_0ஐப் பொறுத்திருக்கும்.

இதற்கு மாறாகத் திருப்பு மின்னழுத்தம் (reverse voltage) அல்லது பின்னோக்கிய பயாசு நிலையில் மின்னோட்டமானது சிறுபான்மை ஊர்திகளின் செறிவுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். N_p-ஆனது தள்ளிவிடத்தக்க அளவுக்கு இருந்தால் பின்னோக்கி இருக்கும் ஓட்டம் I_R, N-பகுதியிலிருந்து ஓடும் துளைகளினாலேயே இருக்கும். இது P_n-க்கு நேர்விகிதத்தில் அமையும். எடுத்துக் கொள்ளப்பட்ட மின்தடைகளில் P_p, P_n-னோடு ஒப்பிடப்படும்

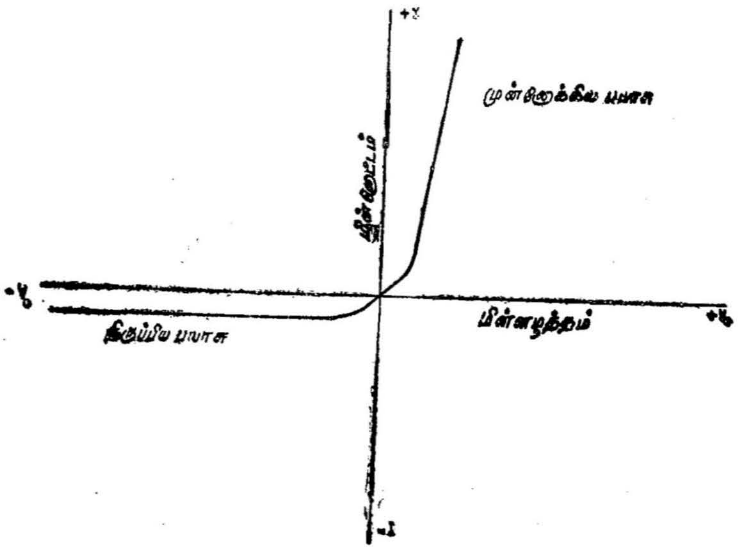


படம் 7.10
திருப்பிய பயாசில் மின்னோட்டம்

போது மிகமிகக் குறைவாக இருப்பதால் பின்னோக்கிய மின்னோட் டம், முன்னோக்கிய மின்னோட்டத்தைவிட மிக மிகக் குறைவாக இருக்கும். இது நடைமுறையில் கொடுக்கப்படும் மின்னழுத் தத்தைப்பொறுத்து அமைவதில்லை. எனவேதான், இந்த P-N சந்தி ஒரு மிக நல்ல ஒருதிசை மின்னோட்டக்கருவியாக அல்லது அலைதிருத்தியாகச் செயற்படுகிறது. ஒரு P-N சந்தியின் மின்னழுத்தம்-மின்னோட்டத்தின் சிறப்பியல்பு வரைகோடு படம் 7·11-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

ஊர்தி மின்னோட்டங்களும் உட்புகுத்தல் மட்டமும்

ஒரு P-N சந்திக்கு ஒரு முன்னேக்கிய பயாசின் மின்னழுத்தமோ, திருப்பு மின்னழுத்தமோ கொடுக்கப்படும்போது இரு பகுதிகளிலும் ஊர்திகளின் செறிவு சமநிலை மதிப்பிலிருந்து மாறுபட்டுவிடவேண்டும். ஏனெனில், இப்படி செறிவு மாறுபட்டால்தான் மின்னோட்டம் ஏற்படும். மின்னோட்டம் ஏற்படுவதை இந்தச் செறிவு மாற்றத்தின் அடிப்படையில்தான் விளக்கியிருக்கிறேம். இங்கு ஃபெர்மி மட்டத்தின் நிலை, ஊர்திகளின் செறிவைப்பொறுத்து அமைகிறது. எனவே, செறிவின் அளவுகளை ஃபெர்மி மட்டம் எடுத்துக்காட்டுவதாகக் கொள்ளலாம்.



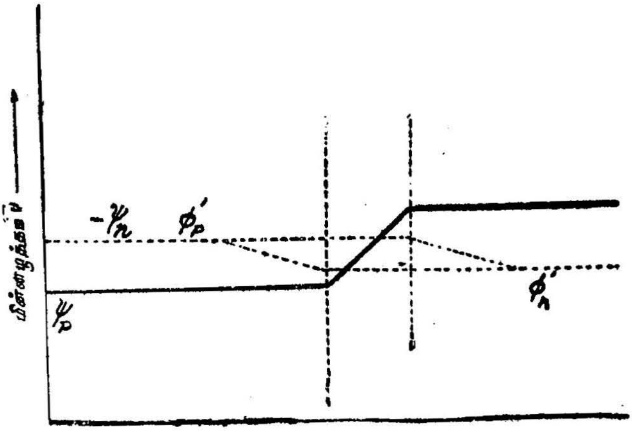
படம் 7·11
P-N சந்தியின் சிறப்பியல்பு வளைகோடு

P-N சந்தி சமநிலையில் இல்லாதபோது ஃபெர்மி மட்டமானது அதன் நிலையிலிருந்து மாறுபடவேண்டும்; மாறுபட்டிருக்கும். எனவே, ஒரு வெளி மின்னழுத்தம் P-N சந்திக்குக் கொடுக்கப்படும்போது ஃபெர்மி மட்டத்தின் நிலையைத் தீர்மானிப்பது தேவையாகிறது. ஏனெனில், இதன் மூலமாகத்தான் ஒவ்வொரு பகுதியிலும் ஊர்திகள் எவ்வாறு உட்செலுத்தப்படுகின்றன— எந்த மட்டத்தில் உட்செலுத்தப்படுகின்றன என்று கண்டு

கொள்ள முடியும். குறிப்பாக *P-N* சந்தியில் கடக்கும் பரப்பின் எல்லைகளில் உட்செலுத்தப்படும் சிறுபான்மை—ஊர்திகளின் எண்ணளவைக் கணக்கிட்டு அறிந்தால்தான் *P-N* சந்தியின் கொள்கை வழி விளக்கத்தை நன்கு அறிந்துகொள்ள முடியும்.

ஒரு *P-N* சந்திக்கு நாம் சில எளிய தற்கோள்களைக் கைக் கொள்வோம். அவையாவன ;

1. *P*-பகுதி *N*-பகுதி ஆகிய இரண்டிலும் மின்தடை மிக மிகக் குறைவாக இருக்கிறது. இதனால் கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தம் முழுவதும் கடக்கும் பகுதியிலேயே செயற்படும். இதன்பொருள் கடக்கும்பகுதி தவிர வேறு எங்கும் மின்புலம் இருக்காது என்பதாகும்,



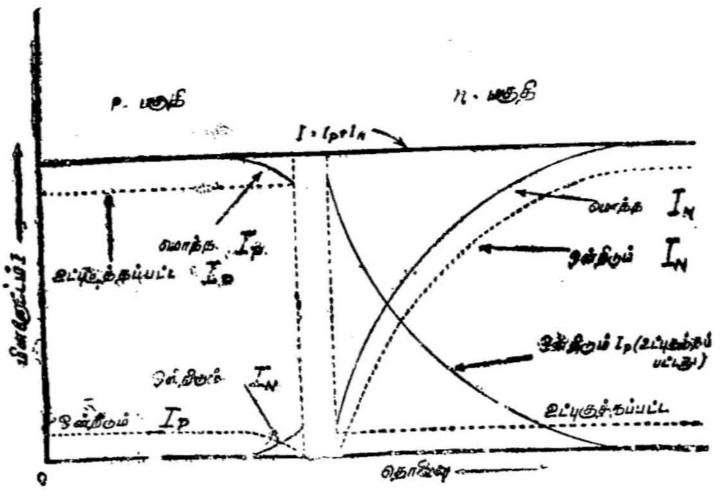
படம் 7.12
முன்னோக்கிய பயாசில் தோற்ற ஃபெர்மி மட்டங்கள்

2. கடக்கும் பகுதியில் எலக்ட்ரான், துளை ஒன்றிப்பு ஏற்படுவதில்லையென்று கொள்கிறோம்.

3. *P*-பகுதி, *N*-பகுதி ஆகிய இரண்டிலும் சிறுபான்மை ஊர்தி ஊடுருவல் நீளம் உண்மையில் அவற்றின் தடிமனைவிடக் குறைவாக இருப்பதாகக் கொள்கிறோம். இப்படி இருந்தால் தான் இப்பகுதியின் முனைகளை அடையுமுன் இந்த ஊர்திகள் ஒன்றோடொன்று ஒன்றிச் சமநிலை மட்டத்தைத் தோற்றுவிக்கும்.

4. சிறுபான்மை ஊர்திகள் உட்புகுத்தும் மட்டமானது பெரும்பான்மை ஊர்திச் செறிவோடு ஒப்பிடப்படும்போது மிகச் சிறியதாக இருப்பதாகக் கொள்கிறோம்.

மேலே சொல்லப்பட்ட தற்கோள்களை மேற்கொண்டு ஊர்தி மின்னோட்டங்களையும் ஃபெர்மி மட்டத்தின் அமைப்பையும் நாம் கண்டறியலாம். அடுத்துள்ள படம் 7·12 ஒரு முன்னேக்கிய பயாசில் செயற்படும் P-N சந்திக்கு உரியது. இதில் V_0-மின்னழுத்தம் வெளியிலிருந்து சந்திக்குக் கொடுக்கப்படுகிறது. இதனால், நிலை மின்னழுத்தம் ϕ_p ஃபெர்மி மட்டம் $\emptyset_p$-யும் V_0 அளவு உயர்ந்துவிடும். இதன் விளைவாகத் துவக்க ஃபெர்மி



படம் 7·13
முன்னேக்கிய பயாசில் மின்னோட்டப் பங்கீடு

மட்டங்கள் $\emptyset_p$-யும் $\emptyset_n$-ம் மின்னழுத்த வேறுபாடு V_0-ஐக் கொண்டிருக்கும். இந்த மட்டங்கள் இரண்டும் ஒரே கோட்டால் இணைக்கப்பட்டிருப்பதைப் படத்தில் காணலாம். இவை $\emptyset_p$, $\emptyset_n$ என்ற இரண்டு செயற்கை மின்னழுத்தச் சார்புகளாக மாறுகின்றன. இவை 'அரையளவான தோற்ற ஃபெர்மி மட்டங்கள்' (Quasi Fermi Levels) என்று அழைக்கப்படுகின்றன. சமநிலையில்லாத சூழ்நிலையில் ஊர்திச் செறிவுகளின் தொலைவு x-ஐப் பொறுத்திருப்பதைப் புரிந்துகொள்வதற்கு இந்தத் தோற்ற ஃபெர்மி மட்டங்கள் உதவும்,

தோற்ற ஃபெர்மி மட்டங்கள் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன (படம் 7·12). *P-N* சந்தியில் தோன்றும் ஊர்தி மின்னூட்டங்களைக்கொண்டு இந்தத் தோற்ற ஃபெர்மி மட்டங்களை விளக்கலாம்,

P-பகுதியில் $x = x_p$ ஆக இருக்கும்போது மொத்த மின்னோட்டம்-*I*, துளை மின்னோட்டம்-I_p க்குச் சமமாக இருக்கும். ஏனெனில் *P*-பகுதியில் உட்புகுத்தப்பட்ட எந்த எலக்ட்ரானும் $x = 0$ தொலைவை அடையுமுன் துளையுடன் ஒன்றிவிடும். x_1-ஐ அடைந்தவுடன் *N*-பகுதியிலிருந்துவரும் எலக்ட்ரான்களுடன் துளைகள் ஒன்றுவதால் I_p-சற்றுக் குறைகிறது. இருந்தாலும், x_1-ல் துளை மின்னோட்டமானது x_2-ல் உள்ள துளை மின்னோட்டத்திற்குச் சமமாகவே இருக்கும். அதன்பிறகுதான் துளைகள் *N*-பகுதியிலிருந்து வரும் எலக்ட்ரான்களோடு ஒன்றி *O*-மதிப்புக்கு வந்துவிடும். *N*-பகுதியில் உள்ள எலக்ட்ரான் செறிவோடு ஒப்பிடப் படும்போது *N*-பகுதியில் உட்புகுத்தப்பட்ட துளைச் செறிவு சிறியதாக இருக்கும். இதனால், *N*-பகுதியில் பெரும்பான்மை ஊர்திகளின் செறிவு x_2-விலிருந்து x_n-வரை மாறுமலேயே இருக்கிறது. இதேபோன்று x_p-யிலிருந்து x_1-வரை பெரும்பான்மை ஊர்திச் செறிவு (துளைகள்) மாறுதிருக்கும். சமன்பாடுகள் 10, 11-லிருந்து *N*, *P*-செறிவுகள் $(\phi - \varnothing_n)$, $(\varnothing_p - \phi)$ ஆகியவற்றோடு எவ்வாறு தொடர்பு கொண்டிருக்கிறது என்பது தெரியும். சமநிலையில்லாதபோது தோற்ற ஃபெர்மி மட்டங்களைப் பயன் படுத்தி அவற்றை எழுதினால்,

$$n = n_i\, e^{q(\phi_n - \varnothing^1_n)/KT} \quad \text{... } 7\cdot16$$

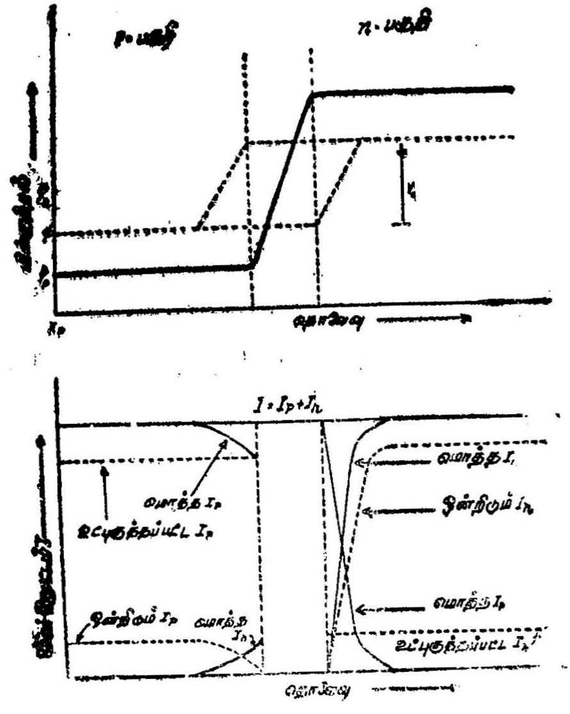
$$p = n_i\, e^{q(\varnothing_p^1 - \phi_p)/KT} \quad \text{... } 7\cdot17$$

N, *P* அதன் பகுதிகளில் மாறுதிருக்க $\varnothing_n^1$-ம், $\varnothing_p^1$-ம் படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் வடிவம் கொண்டிருக்கவேண்டும். மேலும், படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் உட்புகுத்தப்பட்ட ஊர்திகள் ஒன்றிச் சமநிலைச்செறிவுக்கு வந்துவிடும். ஆகையால், $\varnothing_p^1$-ம் $\varnothing_n^1$-ம் V_0 அளவு மாறி மீண்டும் சமநிலை மட்டத்திற்கு வந்துவிடும். இவ்வாறு தோற்ற அரையளவு ஃபெர்மி மட்டங்கள் சந்திப்பிலுள்ள மின்னோட்டங்கள் இயங்குமுறைகளின் அடிப்படையில் விளக்கப்படுகின்றன. பெரும்பான்மை ஊர்திகளில்—செறிவுகள் நடுநிலையில்லாதபோது, நடுநிலை மதிப்புகளுக்குச்

சமமாகவே இருக்கின்றன. ஏனெனில், N-பகுதியில் ϕ_n, $\varnothing_n$ ஆகிய இரண்டும் மின்னழுத்தத்தில் மாற்றமடையவில்லை. P-பகுதியில்,

$$\phi_p{}'' = \phi_p + V_o$$
$$\varnothing_p{}^1 = \varnothing_p + V_o$$

இதே அடிப்படையில் (திருப்பிய பயாசு) பின்னோக்கிய பயாசிலுள்ள சந்தியில் ஊர்தி மின்னோட்டங்களை விளக்கலாம். இதில்



படம் 7.14
திருப்பிய பயாசில் மின்னோட்டம்

தோற்ற ஃபெர்மி மட்டமும், மின்னோட்டம் இருக்கும் முறையும் படம் 7·14ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன.

இங்கு பெரும்பான்மை ஊர்திச்செறிவுகள் சமநிலை மதிப்புகளிலிருந்து மாறாமலே யிருக்கக்காணலாம். எனவே, தோற்ற ஃபெர்மி மட்டங்களும் இந்தப் பகுதியில் மாறாதிருக்கும் இரு

பக்கங்களிலுள்ள கடக்கும்பகுதியில் — ஊடுருவல் நீளங்களுக்குள்ளேமட்டும் ஃபெர்மி மட்டமானது திடீரென்று மாறிவிடுகிறது. இது சிறுபான்மை ஊர்திகளின் செறிவு குறைவதற்கான காரணத்தைக் காட்டுகிறது.

தோற்ற ஃபெர்மி மட்டங்களைப் பயன்படுத்தி ஊர்திச் செறிவுகள் தீர்மானிக்கப்படலாம். இந்த ஊர்திச் செறிவுகள் கடக்கும் பகுதியின் எல்லைகளான x_1, x_2 எல்லைகளுக்கிடையே, ஒரு மின்னழுத்தச்சார்பாக இருக்கும் என்று காண்பிக்கலாம். சமன்பாடு 16-லிருந்து,

$$n = n_n = n_i\, e^{q(\phi - \varnothing_n^1)/KT} \qquad \ldots 7\cdot 18$$

$$= \quad = n_i\, e^{q(\varnothing_p^1 - \phi)/KT} \qquad \ldots 7.19$$

சமன்பாடு 18-லிருந்து,

$$e^{-q\phi/KT} = \frac{n_i}{n_n}\, e^{-q\varnothing_n^1/KT} \qquad \ldots 7.20$$

இதிலிருந்து,

$$P(x_1) = \frac{n_i^2}{n_n}\, e^{q(\varnothing_p^1 - \varnothing_n)/KT} \qquad \ldots 7.21$$

$P_n = \frac{n_i^2}{n_n}$, $\varnothing_p^1 - \varnothing_n^1 = V_0$ ஆகையால்,

$$P(x_1) = P_n\, e^{qV_0/KT} \qquad \ldots 7\cdot 22$$

இதே போன்று,

$$n(x_2) = n_p\, e^{qV_0/KT} \qquad \ldots 7\cdot 23$$

இந்தக் கடைசி இரண்டு சமன்பாடுகளும் *P-N* சந்திக் கோட்பாட்டிலும் டிரான்சிஸ்டர் கோட்பாட்டிலும் மிக அடிப்படையான முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை. இதன்பொருள் ஒரு சந்தியில் உட்புகுத்தப்பட்ட சிறுபான்மை ஊர்திகளின் செறிவு அங்குள்ள சமநிலைச் சிறுபான்மை ஊர்திச் செறிவுக்கு நேர்விகிதத்

திலிருக்கும் என்பதாகும். இது கொடுக்கப்பட்ட வெளிமின்னழுத்தத்தையும் பொறுத்திருக்கும்.

(KT/q)- வோடு ஒப்பிடப்படும்போது V_0-ன் மதிப்பு மிக அதிகமாகவும் எதிர்க்குறி கொண்டதாகவும் $(-V_0)$ இருந்தால் சமன்பாடுகள் 22-ம், 23-ம் சுழியாவதைக் காண்க.

தொடர்ச்சிச் சமன்பாடு (continuity equation)

ஒரு P-N சந்தியைப்பற்றித் தெளிவாகத் தெரிந்துகொள்ள முதலில் ஓர் அடிப்படையான சமன்பாட்டைத் தருவித்துக் கொள்வது மிகத் தேவையான ஒன்று. இந்தச் சமன்பாடு குறைகடத்திப் பொருளில் ஒரு சிறிய பருமனில் எலக்ட்ரான்கள், துளைகள் ஆகியவற்றின் இயங்கும்முறைகளைப்பற்றி விரிவாகத் தெரிவிக்கிறது. இந்தச் சமன்பாட்டுக்கு 'தொடர்ச்சிச் சமன் பாடு' continuity equation) என்று பெயர். இது ஊர்திச் செறிவு இடத்தோடும், காலத்தோடும் ஏற்றவாறு மாறுபடுகிறது என்பதை இது தெளிவாக்கும்.

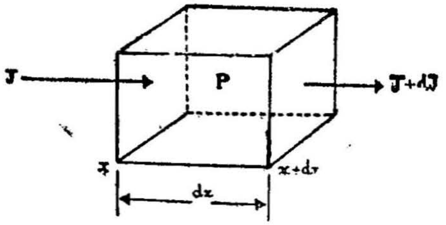
ஒரு குறைகடத்தியின் சிறிய பருமனிலுள்ள மின்னூட்டப் பங்கீடும், மின்னோட்டமும் கீழ்க்கண்ட மூன்று விளைவுகளின் அடிப்படையில் விளக்கப்படும்.

1. எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் தோற்றுவிக்கப்படுதலும், ஒன்றிடுதலும்.
2. ஒரு மின்புலத்தில் மின்னூட்டத்தின் நகர்வு.
3. மின்னூட்ட அடர்த்தி வாட்டத்தினால் மின்னோட்டம் ஊடுருவுதல்.

சில குறிப்பிட்ட வகைகளில் மற்றவிளைவுகளான வெப்பநிலை வாட்டம், காந்தப்புலம் ஆகியவற்றை எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். இருந்தாலும், மேலே குறிப்பிடப்பட்ட மூன்று விளைவுகள்தாம் மிகவும் முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை.

ஒரு குறைகடத்தியின் ஒரு குறிப்பிட்ட பருமனிலிருந்து மின்னூட்டம் X, Y, Z ஆகிய மூன்று திசைகளிலும் வெளியேற்றப்படும் வீதங்களின் கூட்டுத்தொகை கணக்கிடப்படுகிறது. குறைகடத்திப் பொருளில் மின்னூட்டச் செறிவு மாறுபாட்டு வீதத்தை இந்தக் கூட்டுத்தொகைக்குச் சமமாக்கினால் தொடர்ச்சிச் சமன்பாடு கிடைக்கும். ஒரு குறைகடத்தியில்

இரண்டு மின்னூட்ட ஊர்திகள் (ஏலக்ட்ரானும், துளையும்) இருப்பதாலும், குறைகடத்தியில் சீரற்ற மின்னூட்டச் செறிவு இருப்பதாலும் தொடர்ச்சிச் சமன்பாட்டைப் பெறுவது எளிதல்ல. நடைமுறையில் இரண்டு சமன்பாடுகள் தருவித்துக் கொள்ளப்படுகின்றன. ஒன்று எலக்ட்ரானுக்காகவும் மற்றது துளைக்காகவும் உள்ளன. குறைகடத்தி டையோடுகள், டிரான்சிஸ்டர்கள் ஆகியவற்றின் பண்பியல்புகளை முழுவதுமாகப் புரிந்துகொள்ள இந்தத் தொடர்ச்சிச் சமன்பாடு பயன்படுகிறது. எளிதாக இருப்பதற்காக இச் சமன்பாடு பயன் படுகிறது. எளிதாக இருப்பதற்காக இச் சமன்பாடு ஒரு பரிமாணத்திலேயே (one dimension) தருவிக்கப்படுகிறது. இதைப் பிறகு முப்பரிமாணத்தில் திருத்தி எழுதிக் கொள்ளலாம்.



படம் 7.15

படம் 7·15-ல் காட்டியதுபோல் ஒரு பருமனை எடுத்துக்கொள்வோம். இதன் குறுக்குப்பரப்பு YZ தளத்தில் ஓரலகு ஆகும். இதன் நீளம் X-திசையில் dx என்று கொண்டால் இதன் பருமன் dx ஆகும். துளைகளுக்குமட்டும் தொடர்ச்சிச் சமன்பாட்டை இங்கு தருவிப்போம்.

இந்தப்பருமனில் நேர்மின்னூட்டத் துளைகளின் சராசரிச் செறிவு P-என்று கொள்வோம். X-திசையில் இடதுபுறத்திலிருந்து இந்தப் பருமனுக்குள் நுழையும் மின்னோட்டச் செறிவு J-என்றும், வலதுபுறத்தில் பருமனைவிட்டு வெளியேறும் மின்னோட்டச் செறிவு $J + dJ$ என்றும் கொள்ளலாம். இவை இரண்டிற்கு முள்ள வேறுபாடு dJ ஆகும். எனவே, ஒவ்வொரு வினாடியிலும் dJ/q எண்ணிக்கையுள்ள துளைகள் இந்தப் பருமனை விட்டு வெளியேறிக்கொண்டிருக்கின்றன. ஒவ்வொரு வினாடியிலும் dJ/q எண்ணிக்கையுள்ள துளைகள் வெளியேறிக்கொண்டே இருக்கவேண்டுமானால் வேறொரு செயலால் இங்குத் துளைகள் தோன்றிக்கொண்டிருக்க வேண்டும்.

மேலே குறிப்பிடப்பட்ட மின்னூட்ட அடர்த்தியை மாற்றக்கூடிய மூன்று விளைவுகளையும் ஒவ்வொன்றாகப் பார்ப்போம்.

1. எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் தோற்றுவிக்கப்படுதலும் ஒன்றிடுதலும்

எலக்ட்ரான் செறிவு மிகுதியாகும் வீதத்தை,

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n_p - n}{T_n} \text{ எனக் கொள்ளலாம்.} \qquad ...7.24.$$

n_p- சமநிலை மதிப்பு; $\frac{n_p}{T_n}$ — தோற்றுவிக்கப்படும் வீதம்.

$\frac{n}{T_n}$ ஒன்றிடும் வீதம்.

இதே போன்று துளைகளுக்கு :

$$\frac{dp}{dt} = \frac{P_n - P}{T_p} \qquad ...7.25.$$

P_n-சமநிலை மதிப்பு; P-என்பது எந்த ஒரு நேரத்திலும் துகளின் செறிவு; T_p-துளையின் வாழ்வு நேரம். இது துளைச்செறிவு மாறும் வீதத்தைத் தருகிறது.

2. மின்புலத்தில் மின்னூட்ட நகர்வு

ஒரு மின்புலம் E, X திசையில் கொடுக்கப்பட்டால் துளைகள் அதன் திசையில் v-வேகத்துடன் நகரும்.

$$v = \mu_p . \; E.$$

μ_p-என்பது துளைகளின் நகர்வு (mobility) ஆகும். இந்த நகர்வு தான் நகர்வு மின்னோட்ட அடர்த்தியைத் (Drift current density) தருகிறது.

$$J_D, = P q v = P q . \; \mu_p . \; E. \qquad ...7.26.$$

3. மின்னூட்டத்தின் ஊடுருவல்

ஊடுருவல் என்பது P-N சந்திப்பில் மிக முக்கியமான ஒரு நிகழ்ச்சியாகும். மின்னூட்ட ஊர்திகள் (எலக்ட்ரான் அல்லது

துளைகள்) வெளி மின்புலத்தின் உதவியின்றித் தானே பொருளின் ஊடே ஊர்ந்து செல்லுவதைத்தான் 'ஊடுருவல்' என்கிறோம். ஊர்திகளின் உயர் செறிவுப்பகுதியிலிருந்து தாழ்ந்த செறிவுப் பகுதிக்கு ஊடுருவல் இருக்கும். ஊர்திச்செறிவு சீரற்று இருக்கும் போதுதான் ஊடுருவல் இருக்கும். இவ்வாறு ஊடுருவிச் செல்வதை — ஊடுருவும் துளைகளின் எண்ணிக்கையை N-என்று கொண்டால்,

$$N = -D_p \cdot \frac{dp}{dx} \qquad \ldots 7.27.$$

இங்கு எதிர்க்குறித் துளைகள் செறிவுவாட்டம் வழியே ஊடுருவு கிறது. இதனால், தோன்றும் மின்னோட்டம்,

$$J_{D2} = -q \cdot D_p \cdot \frac{dp}{dx} \qquad \ldots 7.28.$$

நேரத்தோடு மின்னூட்ட அடர்த்தி மாறுபடும் வீதத்தைத் தீர்மானிக்க ஊடுருவல் மின்னோட்டம், நகர்வு மின்னோட்டம் ஆகிய இரண்டையும் கூட்டவேண்டும்.

$$J_p = J_{D1} + J_{D2}$$

$$= qp\,\mu_p\,E - q\,D_p \cdot \frac{dp}{dx} \qquad \ldots 7.29.$$

பருமனிலிருந்து வெளியேறும் மின்னூட்டம் dJ ஆகும். ஊடுருவலை யும் நகர்வையும் எடுத்துக்கொண்டால், மின்னூட்ட அடர்த்தி $\frac{\partial p}{\partial t}$ வீதத்தில் மாறுவதாகக் கொள்ளலாம். இதன்படி dx பருமனில் துளைகளின் மொத்த எண்ணிக்கை உயரும் வீதம்,

$$\frac{\partial p}{\partial t}\,dx \qquad \ldots 7 \cdot 30$$

இந்த, துளைகளின் எண்ணிக்கையில் மாற்றத்திற்குக் காரணம் மின்னோட்டமென்று எடுத்துக் கொண்டால்,

$$\frac{\partial p}{\partial t}\,dx = -\frac{\partial J_p}{q} \qquad \ldots 7 \cdot 31$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{1}{q}\frac{\partial J_p}{dx} \qquad ...7\cdot32$$

எதிர்க்குறி மின்னோட்டம் dJ பருமனை விட்டு வெளியேறுகிறது என்பதை விளக்குகிறது.

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{P_n - P}{T_p} - \frac{1}{q}\frac{\partial J_p}{dx} \qquad ...7\cdot33$$

இதேபோன்று எலக்ட்ரான்களுக்கும் தொடர்ச்சிச் சமன்பாட்டைத் தருவிக்கலாம்.

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{n_p - n}{T_n} + \frac{1}{q}\frac{\partial Jn}{\partial x} \qquad ...7\cdot34$$

மின்னோட்டச் செறிவு Jஐச் சமன்பாடு 29-லிருந்து பெறலாம்.

$$J = J_{D1} + J_{D2}$$

$$J_p = q\mu_p PE - q D_p \frac{\partial p}{\partial x} \qquad ...7\cdot35$$

$$J_n = q\mu_n n E + q D_n \frac{\partial p}{\partial x} \qquad ..7\cdot36$$

எனவே, சமன்பாடு 33ஐத் திருத்தி எழுத,

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{p_n - p}{T_p} - \mu_p \frac{\partial}{\partial x}(P\cdot E) + D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \qquad ...7\cdot37$$

இதே போன்று எலக்ட்ரானுக்கு,

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{n_p - n}{T_n} + \mu_n \frac{\partial}{\partial x}(n\cdot E) + D_n \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} \qquad ...7\cdot38$$

சமன்பாடுகள் 37-ம், 38-ம் 'தொடர்ச்சிச் சமன்பாடுகள்' எனப்படும். மின்புலம் வெளியிலிருந்து செயற்படாமலிருந்தால் $E = O$. இதன்படி சமன்பாடு 37-ம், 38-ம் மாற்றியமைக்கப் படலாம்.

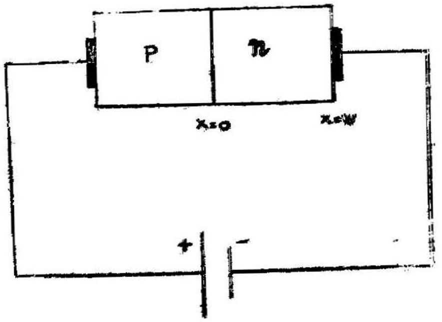
$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{p_n - p}{T_p} + D_p \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} \quad \ldots 7 \cdot 39$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{n_p - n}{T_n} + D_n \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} \quad \ldots 7 \cdot 40$$

இது ஒரு பொதுச் சமன்பாடு. தேவையான இடத்தில் எல்லை நிபந்தனைக்குட்படுத்தி *P-N* சந்தியின் இயக்கமுறையை எளிதாக அறிந்துகொள்ளலாம்.

நேர் மின்னழுத்த — மின்னோட்ட விளக்கம்

மேலே தருவிக்கப்பட்ட தொடர்ச்சிச் சமன்பாடுகளைப் பயன் படுத்தி *P-N* சந்தியைப் பகுப்பாய்வு செய்யவும், கணக்கியல் முறை



படம் 7.16
பயாசு கொடுக்கப்பட்ட *P-N* சந்தி

யில் இவற்றைப்பற்றி அறிந்துகொள்ளவும் எளிதாயிருக்கும். மின்னழுத்த — மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புகளைக் கொடுக்கும் நேர் மின்னழுத்தம் *P-N* சந்திக்குக் கொடுக்கப்படும்போது என்ன நடக்கிறது என்பதை இங்கு காண்போம். மேலும் ஊர்தி ஓட்டம் ஒரே திசையில்மட்டும் இருப்பதாகக்கொண்டு பகுப்பாய்வு செய்யப்படுகிறது.

படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் ஓர் எளிய *P-N* சந்தியை எடுத்துக் கொள்வோம். இதன் குறுக்குப்பரப்பு *A* ஆகும். இதன் சந்திப்பில் $x = 0$ எனவும், *n*-பகுதி முடிவில் $x = W$ எனவும் கொள்ளலாம். இரு முனைகளிலும் வெளி மின்னழுத்தம் $-V_0$ தரப்படுகிறது. இந்த மின்னழுத்தத்தைத் தரும் மின்கல

அடுக்கிலிருந்து n, p-பகுதிகளுக்கு இணைப்புகள் கொடுக்கப்படுகின்றன. இந்த இணைப்புகள் திருத்திப் பண்பற்ற தொடு பகுதிகளால் கொடுக்கப்படுகின்றன.

இந்த இடத்தில் குறைகடத்திக்குத் தடையுடைய திருத்தப் பண்பற்ற தொடு பகுதிகளைப் பற்றிச் சிறிது விளக்கிச் சொல்வது பொருத்தமானது என எண்ணப்படுகிறது. P-N சந்தியில் தோன்றும் திருத்திப்பண்பு பற்றிதான் இங்கு விளக்கப்படுகிறது. இங்கு இதுதான் முக்கியமானது. இதனுல் இணைப்புகளில் எந்தவிதத் திருத்திப்பண்பும் இருக்கக்கூடாது. இணைப்புகள் எளிய மின் தொடுப்புகளாகமட்டுமே இருக்கவேண்டும். எனவே, இந்த இணைப்புகள் அமைக்கப்படும் பகுதிகள் மிகுந்த ஒன்றிப்பு வேகமுடையதாக ஆக்கப்படுகிறது. அதாவது, தடையுடைய பரப்பில் பெரும் பான்மை, சிறுபான்மை ஊர்திகளின் சமநிலையளவில் இருக்குமாறு அமைக்கப்படுகிறது. இந்தச் சமநிலை அமைப்பிலிருந்து சிறிது மாறுபட்டாலும் உடனே எலக்ட்ரான்—துளை ஒன்றிப்பு நிகழ்ந்து இந்தமாற்றம் சரிசெய்யப்பட்டுவிடும். ஒரு குறைகடத்தி சற்று சுரண்டப்பட்டு அந்த இடத்தில் பற்றவைப்பு வைக்கப்பட்டு இத்தகைய தொடுப்புகள் (contacts) உருவாக்கப்படுகின்றன. மற்ெருரு வழி, வீருர்ந்த கலப்புடைய குறைகடத்தியை இந்தத் தொடுப்புகளில் ஏற்படுத்துவது ஆகும். இவை P-பகுதியில் PP^{+} என்றும் n-பகுதியில் nn^{+} என்றும் குறிக்கப்பெறும். + குறி வீருர்ந்த கலப்பைக் காட்டுகிறது. மிகுந்த பெரும்பான்மை ஊர்திகள் இந்தத் தொடுப்புகளில் சமநிலை மட்டங்களைத் தோற்றுவித்துவிடும். கலப்புடைய தொடுப்புகளில் சிறுபான்மை ஊர்திகள் மிகமிகக் குறைவு. எனவே, அவை உட்புகாமல் இருந்து தொடுப்புகளைத் திருத்திப் பண்பற்றவையாகச் செய்துவிடுகின்றன.

மீண்டும் P - N சந்திக்கு வருவோம். P - N சந்தி முன்னேக்கிய பயாசில் இருக்கும்போது, சந்தியில் துளைகள், n-பகுதி நோக்கி ஓடும் எலக்ட்ரான்கள், p-பகுதி நோக்கி ஓடும். இதனுல், ஒரு மின்னேட்டம் இருக்குமென்று முன்பே விளக்கப்பட்டது. மின்னழுத்தத்தோடு மின்னேட்டம் மாறுபடும் முறையைக் கணக்கிட்டுக் கண்டறிய துளை ஓட்டத்தையும், எலக்ட்ரான் ஓட்டத்தையும் தனித்தனியே கணக்கிட்டு, பிறகு இவை இரண்டையும் ஒன்றுக்கி இறுதி விளைவைக் கண்டறியலாம். முதலில் துளை ஓட்டத்தைக் கணக்கிடுவோம்.

முதலில் துளைகள் ஊடுருவல் முறையில் மின்புலம் இல்லாத பகுதிகளில் $(E=O)$ இயங்குகின்றன எனக் கொள்வோம். வேறு வகையில் சொன்னால் p, n பகுதிகளின் மின்தடை மிகக் குறைவாக இருக்கிறது. இப்பகுதிகளில் மின்னழுத்த இழப்பு சந்திக்கு இடையே இருப்பதைவிட மிகமிகக் குறைவு. இரண்டாவதாக ஊடுருவல் மின்னோட்டம் பெரும்பாலும் x - திசையிலேயே இருக்கிறது எனவும் கொள்ளப்படுகிறது. ஒரு பரிமாணப் பகுப்பாய்வு திருத்தி பயன்படுத்தப்பட்ட பரிசோதனைப் பதிவீடுகளுடன் மிக நன்றாகப் பொருந்தியிருக்கக் காணலாம். இந்த நிபந்தனைகளைத் தொடர்ச்சிச் சமன்பாட்டில் பொருத்த,

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{p_n - p}{T_p} + D_p \frac{d^2 p}{dx^2} \qquad \ldots \quad 7{\cdot}41$$

T_p — n- பகுதியில் துளைகளின் வாழ்வு நேரம்.

D_p — துளைகளின் ஊடுருவல் மாறிலி (Diffusion constant)

P_n — சமநிலைச் சிறுபான்மை ஊர்திச் செறிவு.

மாறு நிலையில் (steady state), $\frac{\partial p}{\partial t} = O$

சமன்பாடு 41-லிருந்து,

$$\frac{d^2p}{dx^2} - \frac{P - P_n}{D_p T_p} = O \text{ என ஆகும்.} \qquad \ldots \quad 7{\cdot}42$$

$D_p\, T_p = L_p^2$ $\qquad$ L_p — என்பது ஊடுருவல் நீளம்.

$$\frac{d^2p}{dx^2} - \frac{P - P_n}{L_p^2} = O$$

இது ஒரு இருபடிவகைச் சமன்பாடு. இதன் தீர்வைக் கண்டால்,

$$P - P_n = A\, e^{x/L_p} + B\, e^{-x/L_p} \qquad \ldots 7{\cdot}43$$

A, B - மாறிலிகளைக் கண்டுபிடிக்க, எல்லை நிபந்தனைகளைப் பயன் படுத்த வேண்டும். படத்திலிருந்து,

$$x = O \qquad P = P_n \, e^{qV_0/KT} \qquad \ldots 7{\cdot}44$$

$$x = w \qquad P = P_n \qquad \ldots 7{\cdot}45$$

சமன்பாடு 44 தோற்ற ஃபெர்மி மட்டத்தின் அடிப்படையில் தருவிக்கப்பட்டது. இது கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தம் V_0 ஆக இருக்கும்போது n-பகுதியில் இருக்கும் துளைகளின் செறிவை வரையறுக்கிறது. மேலும், n-பகுதியில் துளைக்கு ஒரு குறிப்பிட்ட வாழ்வு நேரமிருப்பதால், $x = w$ தொலைவில் இந்தத் துளைகள் அழிந்துவிடுமென நாம் எதிர்பார்க்கலாம். இதனால் துளைச் செறிவு சமநிலைமதிப்பு P_n-க்குச் சமமாகிவிடுகிறது. இதுதான் சமன்பாடு 7·45-ல் தரப்படுகிறது. ஏறத்தாழ ஊடுருவல் நீளம் L_pக்குள்ளேயே எல்லாத் துளைகளும் ஒன்றிவிடுவதால், சமன்பாடு 7·45-ன் படி $w \gg L_p$ ஆகும். எனவே, சமன்பாடு 7·43-ஐத் திருத்தி எழுத,

$$P_n \left[e^{qV_0/KT} - 1 \right] = A + B \qquad \ldots 7{\cdot}46$$

இரண்டாவது எல்லை நிபந்தனைப்படி,

$$O = Ae^{w/L_p} + Be^{-w/L_p} \qquad \ldots 7{\cdot}47$$

இவற்றிற்குத் தீர்வு காண,

$$A = \frac{-P_n \left(l - e^{qV_0/KT} \right) e^{-w/L_p}}{2 \; Sinh \; (w/L_p)} \qquad \ldots 7{\cdot}48$$

$$B = \frac{P_n \left(l - e^{qV_0/KT} \right) e^{-w/L_p}}{2 \; Sinh \; (w/L_p)} \qquad \ldots 7{\cdot}49$$

இவற்றைச் சமன்பாடு 43-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$P = P_n - \frac{p_n \left(l - e^{qV_0/KT} \right)}{2 \; Sinh \; (w/L_p)} \left[e^{(w-x)/L_p} - e^{-(w-x)/L_p} \right]$$

$$= P_n - P_n (l - e^{qV_o/KT}) \frac{Sinh\ [\ (w-x)/L_p\ ]}{Sinh\ (w/L_p)} \qquad ...7{\cdot}50$$

துளைச்செறிவு, n-பகுதியில் தொலைவின் சார்பாக இருப்பதைச் சமன்பாடு 50 காட்டுகிறது.

துளை மின்னோட்டச் செறிவு,

$$J_p = - q.D_p \frac{dp}{dx} \qquad ...\ 7{\cdot}51$$

$$\therefore \frac{dp}{dx} = \frac{P_n (l - e^{qV_o/KT})}{L_p} \quad \frac{Cosh\ [\ (w-x)/L_p\ ]}{Sinh\ (w/L_p)} \ ......\ 7{\cdot}52$$

$x = o$ புள்ளியில், $\frac{dp}{dx}$ ஐக் கணக்கிட்டால், அதைக்கொண்டு சந்தியில் துளை மின்னோட்டத்தைப் பெறலாம்.

$$\left(\frac{dp}{dx} \right)_{x=o} = \frac{P_n}{L_p} \ (l - e^{qV_o/KT}) \frac{l}{tanh\ (w/L_p)} \quad 7{\cdot}53$$

இதைச் சமன்பாடு 51-ல் பதிலீடு செய்து A-ஆல் பெருக்க, துளை மின்னோட்டத்தைத் தரும்.

$$I_p = \frac{q\ AD_p\ P_n}{L_p} \left[e^{qV_o/KT} - 1 \right] \frac{l}{tanh\ (w/L_p)} \quad ...\ 7{\cdot}54$$

$w \gg L_p$ ஆகையால்,

$$I_p = \frac{qAD_p\ P_n}{L_p} \left[e^{qV_o/KT} - 1 \right] \qquad ...7{\cdot}55$$

இதுதான் $P - N$ சந்தியில் துளையின் ஊடுருவலால் தோன்றும் மின்னோட்டத்தைத் தருகிறது.

P-பகுதியில் எலக்ட்ரான் ஓட்டம் இருக்கும். மேலே காட்டப்பட்டிருக்கிற பகுப்பாய்வு போன்ற ஒன்றைப் பயன் படுத்தி P-பகுதிக்கான எலக்ட்ரான்களுக்கான தொடர்ச்சிச் சமன் பாட்டுக்குத் தீர்வு காணலாம். அதே எல்லை நிபந்தனைகளுக்கு உட்படுத்தித் தீர்வு காணலாம்.

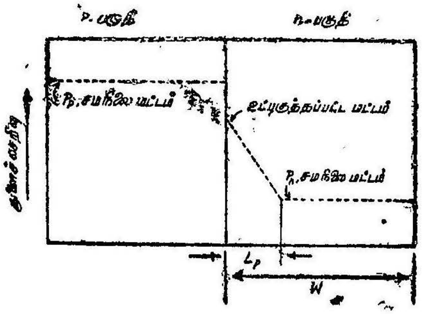
$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{n_p - n}{T_n} + D_n \frac{d^2 n}{dx^2} \qquad \ldots 7{\cdot}56$$

$$J_n = q\, D_n \frac{d\,n}{dx} \qquad \ldots 7{\cdot}57$$

எனவே, எலக்ட்ரானுல் தோன்றும் மின்னேட்டம்,

$$I_n = \frac{q\,A\,D_n\,n_p}{L_n}\left[e^{qV_0/KT} - 1\right] \qquad \ldots 7.58$$

இந்தச் சமன்பாடு, சமன்பாடு 55-ஐ ஒத்த எலக்ட்ரான்களுக்கான சமன்பாடு ஆகும். மொத்த மின்னேட்டம் *I*-காணச் சமன் பாடுகள் 55-ஐயும் 58ஐயும் கூட்ட வேண்டும்.



படம் 7.17

P-N சந்தியில் துளைச்செறிவு அமைப்பு

$$I = I_p + I_n$$

$$I = \left[\frac{qAD_p\,P_n}{L_p} = \frac{qAD_n\,n_p}{L_n}\right](e^{qV^0/KT} - 1). \; 7.59$$

இது தான் *P-N* சந்தியில் மின்னழுத்தம்—மின்னேட்டத்தின் அடிப்படைத் தொடர்பைத் தரும் தொடர்பு ஆகும்.

குறைகடத்திப் பகுதிகளிலிருந்து தூசு அணுச்செறிவு இதில் எவ்வாறு முக்கியப் பங்கு கொண்டிருக்கிறது என்பது விளங்குகிறது. ஊடுருவல் மாறிலி சிறுபான்மை ஊர்திச் செறிவு, ஊடுருவல் நீளம் (வாழ்வு நேரம்) ஆகியவை எல்லாமே தூசு அணுச் செறிவைப் பொறுத்தே அமையும்.

மேலே தருவிக்கப்பட்ட கோவை, தொடர்ச்சிச் சமன்பாட்டை யும் அதன் எல்லை நிபந்தனைகளையும் பயன்படுத்தி எளிதில் தரு விக்கப்பட்டது. எனினும் மற்றொருமுறையில் இதே முடிவைக் காணலாம். இந்த முறையில் *P-N* சந்திப்பில் ஊர்திகளின் ஓட்டத்தை விளக்கித் தெளிவாக்கப்படுகிறது. இதற்காகப் படம் 7·18-ஐ எடுத்துக்கொள்வோம். இதில் *P-N* சந்தியில் உள்ள மின்னோட்டமும் மின்னூட்ட அடர்த்தியும் வளைகோடு களாகக் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. கொடுக்கப்பட்ட வெளி மின் னழுத்தம் (V_0) 0.15 வோல்ட் ஆகும். இது முன்னேக்கிய பயாசு ஆகும். கடக்கும் பகுதிக்கு இரு பக்கங்களிலும் சிறுபான்மை ஊர்திகளின் செறிவு உயருவதைப் படம் காட்டுகிறது. மறு பக்கத்திலிருந்து சிறுபான்மை ஊர்திகள் வந்துசேர்வதனலேயே செறிவு உயருகிறது. இந்த, சிறுபான்மை ஊர்திகள் சந்தியி லிருந்து தள்ளிச் (ஊடுருவி) சென்றுவிட்டால் அவை எதிர் ஊர்திகளுடன் ஒன்றிவிடுகின்றன. எனவே, ஊர்தி மின்னேட்டச் செறிவு குறைகிறது. ஊர்திச் செறிவு தொலைவின் சார்பாகக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. *P*-பகுதியில் செறிவு மாறாதிருக்கும். இது சமநிலை மதிப்பு P_p-க்குச் சமமாய் இருக்கும். சந்தியை அடுத்துள்ள *n*-பகுதியில் துளையின் செறிவு $P_n e^{qV_0/KT}$ ஆகும். இப்போது *n*-பகுதியில் செறிவு வாட்டம் நேர்கோடாக இருப்ப தாகவும், துளைகள் ஊடுருவல் நீளம் L_p சமமான நீளத்தில் ஒன்றி விடுவதாகவும் கொண்டால்,

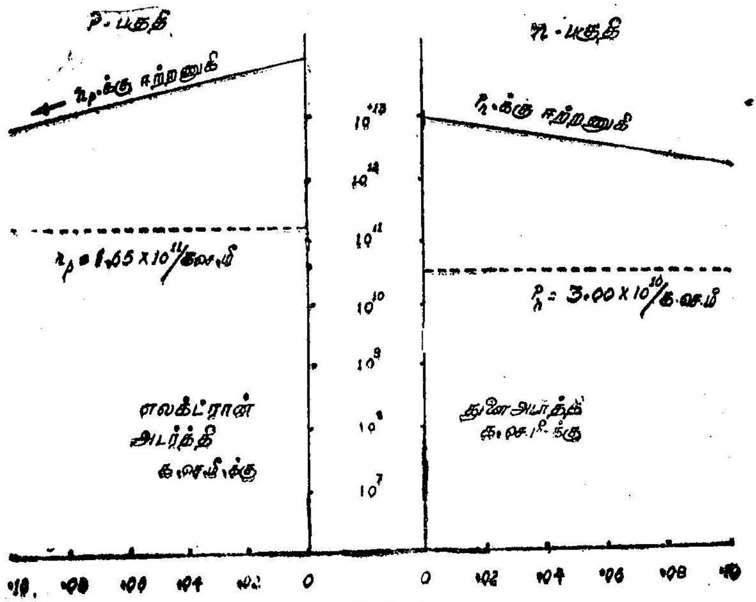
$$\frac{dp}{dx} = -\left(\frac{P_n e^{qV_0/KT} - P_n}{L_p}\right) \quad \text{..........7.60.}$$

இது படத்தில் ஊடுருவல் செறிவு வாட்டத்தின் சாய்வு (slope) ஆகும். எதிர்க்குறி தொலைவோடு செறிவு குறைவதைக் காட்டுகிறது. இதைப் பயன்படுத்தித் துளை ஊடுருவல் மின்னோட் டத்தைக்காணச் சமன்பாடு கண்டால்,

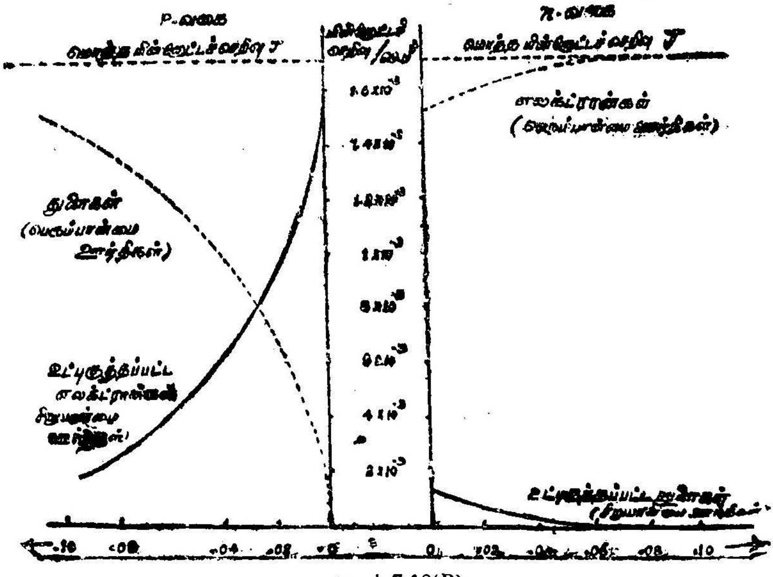
$$I_p = -q.\ A.\ D_p \frac{dp}{dx}$$

$$I_p = \frac{q\,A\,D_p}{L_p}\left[e^{qV_0/KT} - 1\right] \quad \text{... 7.61}$$

இது சமன்பாடு 7.55-ஐ ஒத்திருக்கிறது.



படம் 7·18(A)
சிறுபான்மை ஊர்திகளின் அடர்த்தி



படம் 7 18(B)
மின்னேட்ட அடர்த்தி

இதே முறையில் எலக்ட்ரான் ஊடுருவல் மின்னோட்டத்தை யும் கணக்கிடலாம்.

$$I_n = \frac{q A D_n n_p}{L_n} \left[e^{q V_o / KT} - 1 \right]$$

மொத்த மின்னோட்டம் $I = I_p + I_n$

$$I = \left[\frac{q A D_p p_n}{L_p} + \frac{q A D_n n_p}{L_n} \right] \left[e^{q V_o / KT} - 1 \right] \quad ...7 \cdot 62$$

இதிலிருந்து உள்ளே சென்ற ஊர்திகள் ஒன்றி ஒரு ஊடுருவல் சரிவைத் தோற்றுவிக்கின்றன என்பது தெரிகிறது. இது சாய்வுக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும் மின்னோட்டத்தைக் கொடுக் கிறது.

திருப்பிய பயாசில் *P-N* சந்தி

இப்போது மொத்த மின்னோட்டம் *I*ஐச் சமன்பாடு 7.62 தரு கிறது. இதில் வெளி மின்னழுத்தம் V_o-ன் பங்கு என்ன? அதன் விளைவு எப்படி இருக்கும்? என்பதைக் காண்போம்.

சந்தி திருப்பிய பயாசில் இருந்தால் V_o-எதிர்க்குறி கொண் டிருக்கும். இதனால் $e^{-q V_o / KT}$ பகுதி V_o-அதிகரிக்க மிக விரைவாகச் சுழியாகி விடும். இதன் விளைவாக மொத்த மின்னோட்டம்,

$$I_R = -\left[\frac{qAD_p P_n}{L_p} + \frac{qAD_n n_p}{L_n} \right] \text{ எனஆகும்....} 7 \cdot 63$$

இங்கு மின்னோட்டத்தை I_R என்று குறிப்பிடுகிறோம். ஏனெனில், இந்த மின்னோட்டம் திருப்பிய திசையில் (எதிர்த்திசையில்) இருக்கும். இதை 'திருப்பிய தெவிட்டிய மின்னோட்டம்' (reverse saturation current) என்கிறோம். நடைமுறையில் $V_o > 1$ ஆக இருக்கும்போது V_o எவ்வளவு அதிகரித்தாலும் I_R மாறாமலே இருக்கக் காண்கிறோம். இந்த மின்னோட்டம் முக்கிய மாகச் சிறுபான்மை ஊர்திகளின் செறிவு P_n, n_p ஆகியவற்றைத் தாம் சார்ந்திருக்கும். எனவே, மின்தடை குறையக் குறைய இதுவும் குறையும்.

ஒரு *P-N* சந்திக்கு மிகுந்த திருப்பு மின்தடை யிருக்கவேண்டி யிருந்தால், *n*-பகுதி, *p*-பகுதி மின்தடைகளைக் குறைத்தும் சந்திப்

பரப்பு Aஐக் குறைத்தும், I_R-குறைக்கப்படுகிறது. நடைமுறையில் P-N சந்திகள் தயாரிக்கப்படும்போது, P-பகுதி வழக்கமாக மிகுதியாகக் கலப்புடையதாக இருக்கும். அப்போது P_n-உடன் ஒப்பிடப்படும்போது n_p மிகமிகக் குறைவாகத் தள்ளிவிடத்தக்க அளவுக்குக் குறைந்துவிடும். திருப்பு மின்னோட்டம் I_R முக்கியமாக n-பகுதியிலிருந்துவரும் சிறுபான்மைத் துளை ஓட்டத்தைச் சார்ந்தே அமையும்.

$$I_R \approx -\frac{qAD_p P_n}{L_p} \qquad n_p < p_n \qquad \ldots 7\cdot 64$$

இதையே தொடர்ச்சிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தித் தருவிக்கலாம். முதலில் n-பகுதியிலுள்ள துளைச்செறிவை எடுத்துக் கொள்வோம். $x = o$ ஆக இருக்கும்போது (V_0) வெளி மின்னழுத்தமாகக் கொண்டு,

$$P = P_n\, e^{-qV_0/KT} < P_n \qquad \ldots 7\cdot 65$$

கடக்கும் பகுதியின் ஓரத்தில் சிறுபான்மை ஊர்தி மின்னூட்டச் செறிவு உள்ளே இருப்பதைவிடக் குறைவாக இருக்கும் ∴$P_n > P$. இதன் பொருள் என்னவென்றால் துகளின் மின்னோட்டச் செறிவு J_2 சந்தியின் குறுக்கே மின்னோட்டத்தை ஊடுருவலால் எடுத்துச் செல்கிறது. இதேபோன்று P-பகுதியில் $x = o$ வில் சிறுபான்மை மின்னூட்ட அடர்த்தியை எழுதினால்,

$$n = n_p\, e^{-qV_0/KT} < n_p \qquad \ldots \quad 7\cdot 66$$

இங்கு J_2- எலக்ட்ரான் மின்னூட்டத்தைக் குறிக்கும். இது P-பகுதிக்குள் ஊடுருவிச்சென்று சிறுபான்மைச் செறிவைக் குறைக்கிறது. P-N சந்தி 0.1 வோல்ட்டுக்கு அதிகமாகக் கொடுக்கப்பட்டு திருப்பு மின்னழுத்தமாகவும் இருந்தால்,

$$-qV_0 \gg 4\,KT$$

அல்லது, $e^{qV_0/KT} \ll 1$ ஆகி விடும். ...7·67

இதன் மூலம் J_2+ம் J_2-ம் சந்தியைக் கடந்து மின்னோட்டத்தைத் தோற்றுவிக்கிறது என அறியலாம்.

தொடர்ச்சிச் சமன்பாடு 39ஐ வகைப்படுத்தினால்,

$$J_{D1}^{+} = \frac{-q\,D_p\,P_n}{L_p}\;e^{-x/L_p}$$ என வரும் ... 7·68

எதிர்க்குறி ஊடுருவல் மின்னேட்டம் n-வகையில் இடதுபுறமாக இருக்கிறது என்பதைக் காட்டுகிறது. இதேபோன்று P-பகுதிக்கு எழுத [சமன்பாடு 40-ஐ வகைப்படுத்த]

$$J_{D1}^{-} = q\,D_n\,\frac{dn}{dx}$$

$$= \frac{q\,D_n\,n_p}{L_n}\;e^{-x/L_n} \qquad ...\ 7·69$$

கடக்கும் பகுதியின் ஓரத்தில் $x = o$. $J_{D1} = J_2$ என்று கொண்டால்,

$$J_2^{+} = \frac{q\,D_p\,p_n}{L_p}$$

$$J_2^{-} = \frac{q\,D_n\,n_p}{L_n}$$

மொத்த மின்னூட்ட அடர்த்தி மின்னேக்கிய திசையில்,

$$J = -(J_2^{+} + J_2^{--})$$

$$J = -\left(\frac{q\,D_p\,P_n}{L_p} + \frac{q\,D_n\,n_p}{L_n}\right) \qquad ...\ 7·70$$

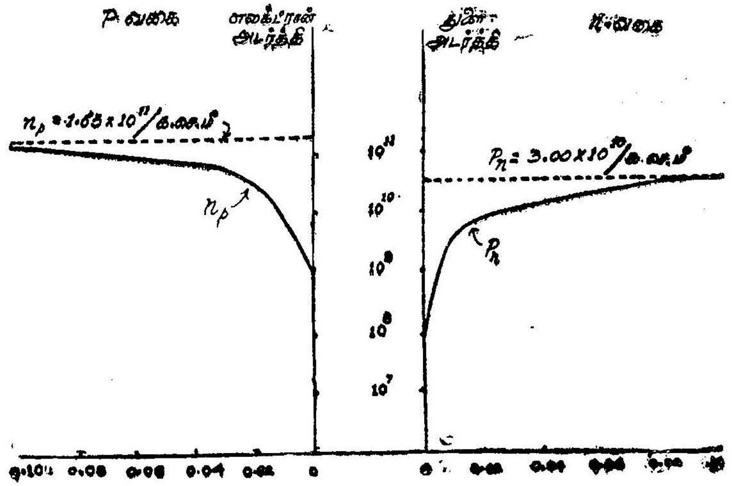
மொத்தத் திருப்பு மின்னேட்டம்,

$$I_R = J.\ A.$$

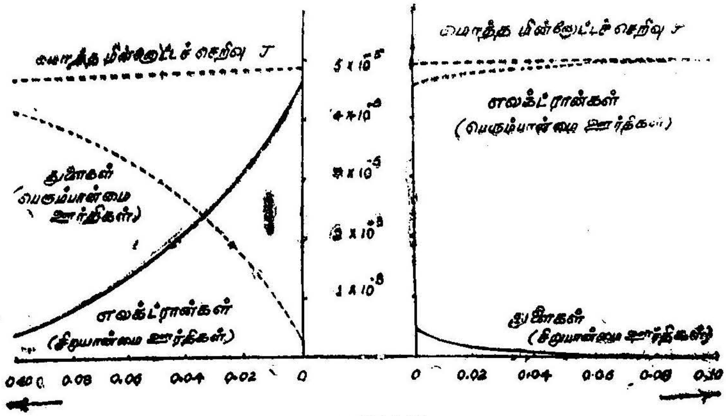
$$I_R = -\left[\frac{q\,A\,D_p\,P_n}{L_p} + \frac{q\,A\,D_n\,n_p}{L_n}\right] \qquad ...\ 7·71$$

இதைத்தான் சமன்பாடு 63 காட்டுகிறது.

திருப்பிய மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்பட்ட P-N சந்தியில் மின்னூட்ட ஊர்தி அடர்த்தியையும், மின்னேட்ட அடர்த்தியையும் படம் 7.19 காட்டுகிறது.



படம் 7·19(A)
சிறுபான்மை ஊர்தி அடர்த்தி (திருப்பிய பயாசில்)



படம் 7·19(B)
மின்னோட்டச் செறிவு (திருப்பிய பயாசில்)

இதில் சிறுபான்மை ஊர்திச் செறிவு மேல் மட்டத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. இவை கடக்கும் பகுதியின் பக்கத்தில் சிறியதாக இருக்கிறது. கடக்கும் பகுதியிலிருந்து தள்ளிச் செல்லச் செல்ல இந்தச்செறிவுகள் அதிகரிப்பதையும் தொலைவில் இந்தச் செறிவுகள் சமநிலை மதிப்பை அடைவதையும் படத்தில்

காண்க. படத்தின் கீழ்ப்பகுதியில் இருவகை ஊடுருவல் மின்னோட்டங்களும் காட்டப்பட்டுள்ளன. இதன்படி துளைகள் ஊடுருவல் மின்னோட்டம் n-வகையில் துளைகள் என்று குறிக்கப் பட்டுள்ளது. இவை ஓடும் திசையில் மின்னோட்டம் J_2^{+} இருக் கும். எலக்ட்ரான் ஊடுருவலால் p-வகையில் இருக்கும் மின்னூட் டம் J_2^{-} என்று குறிக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த மின்னோட்டம் இடதுபுறமாக இருவகை மின்னோட்டங்களின் மொத்த மதிப்பு கடக்கும் பகுதியின் ஓரங்களில்தாம் பெருமமாக இருக்கும். உட்பகுதிகளில் இவை ஒன்றி அழிந்துவிடுவதால் மின்னோட்டம் பெரும்பான்மை ஊர்திகளாக மட்டுமே இருக்கும்.

$$I_R = -\frac{qAD_p P_n}{L_p} \qquad P < P_n.$$

என்று முன்பு கண்டோம்.

கொடுக்கப்பட்ட வெளிமின்னழுத்தம்-V_0 நேர்க்குறி கொண் டிருந்தால் P-N சந்தி முன்னோக்கிய பயாசு உள்ளதாக மாறிவிடும். இதன்படி $e^{qV_0/KT}$-ன் மதிப்பு மிக விரைவாக ஒன்றுக்குமேல் அதிகமாகிவிடும். இதனால் சமன்பாடு 62-லிருந்து,

$$I_F = \left[\frac{qAD_p P_n}{L_p} + \frac{qAD_n n_p}{L_n}\right] e^{qV_0/KT} \qquad .. 7.72$$

சமன்பாடுகள் 71ஐயும் 72ஐயும் ஒப்பிட,

$$I_F = I_R \cdot e^{qV_0/KT} \qquad ... 7.73.$$

I_F-என்பது முன்னோக்கிய சந்தி மின்னோட்டமாகும். அறை வெப்ப நிலையில் $e^{KT/q}$ 0.026 வோல்ட்டுக்குச் சமமாகும். இதன்படி V_0, 0.01 வோல்ட் இருக்கலாம். வெளிமின்னழுத்தம் V_0-யைப் பொறுத்து $e^{qV_0/KT}$ அமைவதால் முன்னோக்கிய மின்னோட் டம் I_F விரைவாக அதிகரிக்கிறது. அதாவது முன்னோக்கிய திசையில் மின்தடை குறைவாக இருக்கிறது என்பது பொருள். இவை அடுத்துள்ள படம் 7-13,7.14-ல் தெளிவாகக்காட்டப் பட்டுள்ளது. இப்படத்தில் முன்னோக்கிய பயாசிலும் திருப்பிய பயாசிலும் உள்ள மின்னோட்டங்கள் காட்டப்பட்டுள்ளன. இது

அறை வெப்பநிலையிலுள்ள நிலையாகும். இங்கு I_R ஓர் அலகாக இருப்பதாய் காட்டப்பட்டுள்ளது.

மேலே கொடுக்கப்பட்டுள்ள விளக்கமானது ஊடுருவல் நீளம் கடக்கும் நீளத்தைவிடச் (அல்லது அடிப்பகுதியைவிட) சிறியதாக இருப்பதாகக்கொண்டு விளக்கப்பட்டுள்ளது. டிரான்சிஸ்டர்களைப்பற்றிப் படிக்கும்போது இதற்கு எதிர்மாறான வகைகளைப் பார்க்கலாம். இங்கு அடிவாய்ப் பகுதியின் (base) நீளம் ஊடுருவல் நீளத்தைவிடக் குறைவாக இருக்கும் $(W \ll L_p)$.

$$\text{இதனால்,}\ \frac{1}{\tanh w/L_p} = \frac{L_p}{W}\ \text{ஆகும்.}$$

$$\text{எனவே,}\ I_p = \frac{qAD_p n_p}{W}\ (e^{qV_0/KT} - 1)$$

என ஆகும். இதில் L_p-க்குப் பதிலாக W-இடம் பெற்றிருக்கிறது. இது துளை ஊடுருவல் மின்னோட்டம், அதன் வாழ்வு நேரத்தைப் பொருத்து அமையாது இருப்பதைக் காட்டுகிறது. $W \gg L_p$ ஆனால், உட்புகுந்த எல்லாத் துளைகளும் $x = w$ தொலைவில் ஒன்றிவிடும். $x = w$-ல் துளைச்செறிவு நடுநிலை மதிப்பு P_n-க்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும். இதன் விளைவாகச் செறிவுவாட்டம் $\frac{dp}{dx}$ பின் வருமாறு மாறிவிடும்.

$$\frac{dp}{dx} = \frac{-P_n\ (e^{qV_0/KT} - 1)}{W}\ \text{ஆகும்.} \qquad \ldots 7.74$$

இதுவரை விவரிக்கப்பட்ட பகுதியில் முன்னோக்கிய பயாசு, திருப்பிய பயாசு ஆகிய இரு நிலைகளுக்கும் தொடர்ச்சிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி அதற்குத் தீர்வுகண்டு விளக்கப்பட்டது. இந்த இரண்டு நிலைகளுமே சந்தி டிரான்சிஸ்டரின் இயங்குமுறைகளை நன்கு தெரிந்துகொள்ள உதவும் முக்கியமான கோட்பாடுகள் ஆகும். இதனால் இந்த இடத்தில், தொடர்ச்சிச் சமன்பாடுகளின் தீர்வுகளுக்கு இயற்பியல் வழியில் பொருள் கொள்வதே பொருத்தமாக இருக்கும்.

ஒரு P-N சந்திக்குத் திருப்பிய பயாசு கொடுக்கப்படும்போது கடக்கும் பகுதியின் ஓரங்களிலுள்ள சிறுபான்மை ஊர்திச்

செறிவுகள் மிகமிகக் குறைவாகவே இருக்கும். மொத்த திருப்பிய சந்தி மின்னோட்டமும் சிறியதாக இருக்கும். இது குறைகடத்திக்கு உள்ளேயுள்ள சிறுபான்மை ஊர்திகளின் செறிவுகளால் தீர்மானிக்கப்படுகிறது.

சந்தி முன்னோக்கிய பயாசைப் பெற்றிருக்கும்போது மின்னோட்டத்தின் பெரும்பகுதி உட்புகுந்த சிறுபான்மை ஊர்திகளால் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. *P*-பகுதியிலிருந்து சந்தியைக் கடந்து *n*-பகுதிக்குத் துளைகள் ஓடும். அங்கு அவை சிறுபான்மை ஊர்திகளாகும். அதே நேரத்தில் *n*-வகைப்பகுதியிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் சந்தியைக் கடந்து *p*-வகைப்பகுதிக்கு ஓடும். அங்கே இவை சிறுபான்மை ஊர்திகளாகின்றன. இவ்வாறு உட்புகுந்த மின்னூட்ட ஊர்திகள் கடக்கும் பகுதியின் அருகில் சிறுபான்மை ஊர்திச் செறிவுகளை அதிகமாக்கி விடுகின்றன. இதனால் சந்திப்பிலிருந்து சிறுபான்மை ஊர்திகள் ஊடுருவலாகத் தள்ளிச்செல்லுகின்றன. இந்தச் சிறுபான்மை ஊர்திகள் கடக்கும் பகுதியிலிருந்து தள்ளிச்செல்வதால் ஒன்றிப்பு நிகழ்கிறது.

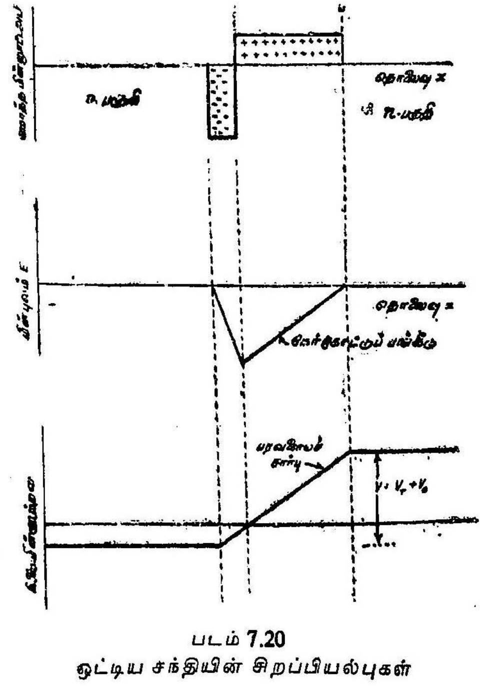
P-வகைப்பகுதியில் உட்புகுந்த எலக்ட்ரான்கள் மெதுவாகத் துளைகளுடன் ஒன்றுகின்றன. இதனால் பெரும்பான்மை ஊர்திகளான துளைகளினால் தோன்றும் மின்னோட்டத்தின் அளவு கடக்கும் பகுதியின் ஓரத்திலிருந்து உள்ள தொலைவைச் சார்ந்து உயருகிறது. *P*-வகைப்பகுதியில் 4 L_n தொலைவிற்குள் ஏறத்தாழ எல்லா எலக்ட்ரான்களும் துளைகளுடன் ஒன்றிவிடுவதால் மின்னோட்டம் எலக்ட்ரான்களால் மட்டுமே தோற்றுவிக்கப்படும்.

இந்த இடத்தில் *P-N* சந்திக்கும் தடைத்தொடுப்புக்கும் ஒரு வேறுபாட்டைக் கூறுவது பொருத்தமாக இருக்கும். தடைத்தொடுப்பு (ohmic contact) என்பது குறைகடத்திப் பகுதியில் வெளியில் செல்லும் இணைக்கம்பியைப் பொருத்தும் இடமாகும். *P-N* சந்தியைப் போலல்லாது மின்னழுத்த—மின்னோட்ட இயல்பு இந்தத் தடைத்தொடுப்பில் நேரானதாக இருக்கவேண்டும். பொதுவாக தடைத்தொடுப்புகள் குறைகடத்திப் பகுதிக்கும் ஓர் உலோகத்திற்கும் இடையேதான் ஏற்படுத்தப்படுகிறது. ஏற்படுத்தப்படும் இடத்தில் குறைகடத்தியின் பரப்பு அமைப்பு கெட்டுவிடக்கூடும். இதனால் தொடுப்பு அருகில் ஒன்றிப்பு வீதம் கூடலாம். இதற்காகத் தொடுப்பு அருகில் ஊர்திச் செறிவு சமநிலை மதிப்புக்குச் சமமாக வைக்கப்படுகிறது. இதன் மூலம் தடைத்தொடுப்பில் சந்தி தோன்றுவதை ஓரளவு தடுக்க

லாம். தடைத்தொடுப்புகள் பற்றவைப்பினாலோ, உலோகக் கலப்பினாலோ தோற்றுவிக்கப்படலாம்.

ஒட்டிய சந்தியின் மின்தேக்குதிறன்

முன் ஒரு பகுதியில் *P-N* சந்தியின் சமநிலைமைபற்றி விளக்கப்பட்டபோது *P*-வகையிலிருந்து *n*-வகைக்குக் கடக்கும் பகுதியில் ஒரு மின்னூட்ட இருமுனைப்பகுதி தோன்றுவதாகக் குறிப்பிட்டோம். இந்தப்பகுதி செறிவுதளர்ந்த பகுதி அல்லது நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு (depletion layer) ஆகும். இந்த



படம் 7.20
ஒட்டிய சந்தியின் சிறப்பியல்புகள்

அடுக்கு ஊர்திகள் கடக்கும் பகுதியைவிட்டு உள்ளே ஊடுருவிச் செல்வதினால் தோன்றுகிறது. இவை ஊடுருவிச் சென்றவுடன் அயனியாக்கப்பட்ட தூசு அணுக்கள் மட்டுமே மின்னூட்டம் சரிசெய்யப்படாமல் அந்த அடுக்கில் நிறைந்திருக்கும். இந்த அடுக்கில் பரவியிருக்கும் மின்னூட்ட அடர்த்தியானது தொடு மின்னூட்டம் V_Tஐத் தோற்றுவிக்கும் வகையிலிருக்கும். இது படம் 7.1-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

நெருக்கம் குறைந்த இந்த அடுக்கின் எல்லைகள் $-x_p$, x_n ஆகும். $x = o$ இடத்தில்தான் ஊர்திகள் கடக்கின்றன. இந்தப் பகுதியில் திருப்பிய பயாசு V_0 கொடுக்கப்படுவதால் மின்னழுத்தம் உயர்த்தப்படுகிறது. இந்த மொத்த மின்னழுத்தம் V_0-ன் விளைவு $x = o$ பகுதியிலிருந்து மேலும் பெரும்பான்மை ஊர்திகளை விலக்கித் தள்ளுவதேயாகும். இதனால், அந்தப் பகுதியில் மேலும் தூசு அயனிகளின் எண்ணிக்கை இருபக்கங்களிலும் கூடுகிறது. இவ்வாறாகக் கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தம்—திருப்புபயாசு மின்னழுத்தம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க நெருக்கம் குறைந்த இந்த அடுக்கு அகலமாகிறது. இதனால், இந்த அடுக்கில் அமைந்திருக்கும் ஒரு தூசு அணுக்களின் அயனிகளால் இது ஒரு மின்தேக்கிபோல் செயற்படுகிறது. இந்தப் பகுதிக்கு ஒரு மின்தேக்கு திறன் c-இருக்கும். இதன் மின்கடத்தாப் பொருளின் மாறிலி (dielectric constant) KE_0 ஆகும். MKS அலகில் $E_0 = 8 \cdot 85 \times 10^{14}$ பாரட்/மீட்டர் ஆகும். E_0-என்பது அனுமதித்திறன் (Fermit tivity).

கீழ்வரும் பகுப்பாய்வில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் தடிமனும், மின்தேக்குதிறனும் மின்னழுத்தத்தைச் சார்ந்து இருக்கிறது என்ற உண்மையை வெளிப்படுத்துகிறது. இங்கு கொடுக்கப்படும் மொத்த மின்னழுத்தமும் இந்த நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கில் மட்டுமே செயற்படுவதாகக் கொள்ளப்படுகிறது.

பாய்சான் சமன்பாட்டின்படி மின்னூட்ட அடர்த்தி P-ம் மின்னழுத்தம் V-ம் கீழ்க்கண்டவாறு தொடர்பு கொண்டிருக்கும்.

$$\triangle^2 V = -\frac{P}{KE_0} \qquad \ldots 7 \cdot 75$$

ஒரு பரிமாணத்தில்,

$$\frac{d^2v}{dx^2} = -\frac{p(x)}{KE_0} \qquad \ldots 7 \cdot 76$$

K-என்பது மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலி. படத்திலிருப்பது மின்னூட்ட அடர்த்தி,

$$p(x) = -q N_A \qquad -x_p < x < o \qquad \ldots 7 \cdot 77$$

$$p(x) = q N_D \qquad o < x < x_n \qquad \ldots 7 \cdot 78$$

$$p(x) = o \qquad x < -x_p : \; x > x_n \qquad \ldots 7\cdot79$$

N_A, N_D என்பவை முறையே மொத்த ஏற்பி அணுத்தூசு, கொடை அணுத்தூசு ஆகியவற்றின் செறிவுகள். இந்த எல்லை நிபந்தனைகளைப் பாய்சான் சமன்பாட்டில் பொருத்த,

$$\frac{d^2 v_P}{dx^2} = \frac{q\, N_A}{K\, E_0} \qquad P\text{-பகுதி} \qquad \ldots 7\cdot80$$

$$\frac{d^2 v_n}{dx^2} = \frac{-q\, N_D}{K E_0} \qquad n\text{-பகுதி} \qquad \ldots 7\cdot81$$

இவற்றை ஒருமுறை தொகைப்படுத்த மின்புலம் $\frac{dv}{dx}$ கிடைக்கும். இருமுறை தொகைப்படுத்தினால் மின்னழுத்தம் V- கிடைக்கும்.

$$\left.\begin{aligned} \frac{dv_p}{d_x} &= \frac{q\, N_A\, x}{K\, E_0} = A_p \\ v_p &= \frac{q\, N_A\, x^2}{2\, K\, E_0} + A_p\, x + B_p \end{aligned}\right\} \begin{aligned} &P\text{-பகுதிக்கு} \\ &-x_p < x < o \end{aligned} \quad \ldots 7\cdot82$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{dv_n}{dx} &= \frac{-q\, N_D\, x}{KE_0} + A_n \\ v_n &= \frac{-q\, N_D\, x^2}{2\, K\, E_0} + A_n\, x + B_n \end{aligned}\right\} \begin{aligned} &n\text{-பகுதிக்கு} \\ &o < x < x_n \end{aligned} \quad \ldots 7\cdot83$$

A-யும் B-யும் இங்கு மாறிலிகள். இவற்றைக்காண, $x = o$ என்ற நிபந்தனை பயன்பத்தப்படுகிறது. $x = o$ ஆகும்போது $V_p = V_n$ ஆகும். ஏனெனில், மின்னழுத்தம் தொடர்ச்சியாக இருக்கிறது.

∴ $B_p = B_n$. மேலும் $x = o$-வில் மின்புலம் தொடர்ச்சியாக இருக்கும். எனவே $A_p = A_n$ என்று ஆகும். மேலும் $x = -x_p$, $x = x_n$-ல் மின்புலம் $\frac{dv}{dx}$ - சுழியாக வேண்டும். மின்புலம் தொடர்ச்சியாக நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கிற்குள் மட்டுமே இருப்பதனால் இது சுழியாகிறது.

$$\therefore A_p = A_n = \frac{qN_A x_p}{KE_0} = \frac{qN_D x_n}{KE_0} \quad ...7.84$$

இதிலிருந்து,

$N_A\ x_p = N_D\, x_n$ எனக்கிடைக்கிறது. ...7.85

இது ஒரு வெளிப்படையான முடிவு ஆகும். இது ஒருபக்கத்திலுள்ள மொத்த நேர்மின்னூட்டம் மறுபக்கத்திலிருக்கும் மொத்த எதிர் மின்னூட்டத்திற்குச் சமமெனக் காட்டுகிறது. A_p, A_n ஆகியவற்றிற்கான கோவையைச் சமன்பாடு 7.82 7·83-ல் பொருத்த,

$$V_p = \frac{q\,N_A}{2KE_0}x^2 + \frac{q\,N_A\,x_p}{KE_0} + B \quad ...7.86$$

$$V_n = -\frac{qN_D}{2KE_0}x^2 + \frac{qN_D x_n}{KE_0} + B \quad ...7.87$$

$-x_p$-யிலிருந்து x_n-வரை மின்னழுத்த வேறுபாடு காண $V_p\,(-x_p)$ லிருந்து $V_n\,(x_p)$-ஐக் கழிக்க வேண்டும்.

$$V = V_0 + V_T = V_n - V_p = \frac{q}{2KE_0}[N_D x_n^2 + N_A x_p^2] \quad ...7.88$$

சமன்பாடு 85-லிருந்து,

$$N_A = N_D\frac{x_n}{x_p}$$ ஆகையால்,

$$V = \frac{q\,N_D}{2KE_0}\,x_n\,[x_n + x_p] \quad ...7.89$$

மிகவும் நல்ல தரமிக்க P-N சந்திகளில் $N_A \gg N_D$ ஆகவும் $x_n \gg x_p$ ஆகவும் இருக்கும். இதன் பொருள் p-பகுதியிலுள்ள மின்னூட்ட அடர்த்தி மிகமிக அதிகமாயிருக்கும். இதனல் n-பகுதி மொத்தத்திலும் இந்த நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு பரவி விடும். இந்தத் தோராயத்தின் படி, நெருக்கம் குறைந்த பகுதியின் அகலம்,

$$x_m = x_n + x_p \simeq x_n$$

எனவே, சமன்பாடு 89-லிருந்து,

$$V = \frac{q\,N_D}{2KE_0}\,x_n^2$$

$$V = \frac{q\,N_D}{2KE_0}\,x_m^2$$

$$\therefore x_m = \sqrt{\frac{2\,KE_0 V}{q\,N_D}} \quad \text{செ.மீ } n\text{-வகைக்கு} \qquad ...7.90$$

$$x_m = \sqrt{\frac{2KE_0 V}{qN_A}} \quad \text{செ.மீ } p\text{-வகைக்கு} \qquad ...7.91$$

n-பகுதி, தடை மிகுந்ததாகவுள்ள ஒரு சந்தியின் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலத்தைச் சமன்பாடு 7·90 தருகிறது. இந்த அகலம் மின்னழுத்தம், தூசுச்செறிவு ஆகியவற்றைச் சார்ந் திருப்பதை இது காட்டுகிறது. *p*-பகுதி மின்தடை மிக்கதாக வுள்ள ஒரு சந்திக்குச் சமன்பாடு 7.90-ல் N_A-க்குப் பதிலாக N_D பதிலீடு செய்யப்பட்டுள்ளது. இதைத்தான் சமன்பாடு 7·91 தருகிறது.

படியாக அமைந்த சந்தியில் (step junction) மின்தேக்கு திறனுக்கான கோவையைப்பெறுவதற்கு இந்த நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கை ஓர் இணைத்தகடு மின்தேக்கிபோல் நினைத்துக் கொள்ளலாம். இதன் இடைத்தொலைவு x_m எனக் கொள்ள லாம்.

$$C_T = \frac{KE_0}{x_m} \quad \text{பாரட்/ச.செ.மீ} \qquad ...7.92$$

C_T-என்பது ஓரலகு பரப்பிற்கான மின்தேக்குதிறன். மின் தேக்குதிறனுக்கான கோவையை நாம் இதன் வரையறை யிலிருந்து பெறுவதுபோலவே இந்த முடிவும் கிடைத்திருக்கிறது. வரையறையிலிருந்து,

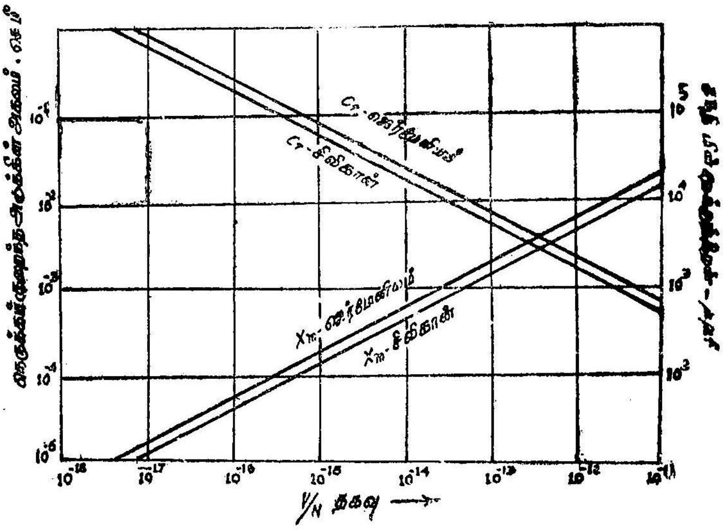
$$\text{மின்தேக்கு திறன்} \quad C = \frac{dQ}{dV}$$

Q-என்பது சந்தி மின்னூட்ட அடர்த்தி. எனவே, சமன்பாடுகள் 7·90, 7·91, 7·92-லிருந்து,

$$C_T = \sqrt{\frac{q\,KE_0 N_D}{2V}} \quad \text{பாரட்/ச.செ.மீ} \qquad \dots 7\cdot 93$$

$$C_T = \sqrt{\frac{qKE_0\,N_A}{2V}} \quad \text{பாரட்/ச.செ.மீ} \qquad \dots 7.94$$

ஓர் ஒட்டு அல்லது படிச்சந்திக்கு ஓரலகு பரப்புக்கான மின் தேக்கு திறன், மின்னழுத்தத்தின் இருமடி மூலத்திற்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கக்காண்கிறோம். மேலும், தூசுச்செறிவு N-க்குப்



படம் 7·21

ஒட்டிய சந்தியில்-மின்தேக்குதிறன், அகலத்திற்குமிடையே தொடர்பு

பதிலாக அதற்கு நேரான மின்தடைத் தொடர்புகள் பதிலீடு செய்யப்பட்டால், மின்தேக்குதிறன் மின்தடையின் இருமடி மூலத்திற்கும் எதிர்விகிதத்தில் இருக்கக்காணலாம். படம் 7·21-ல் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலம் $\frac{V}{N}$ தகவு மின் தேக்குதிறன் ஆகியவற்றின் தொடர்பைக்காட்டும் வரை கோடு காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகிய இரண்டு குறைகடத்திக்கும் வரைகோடு காட்டப் பட்டுள்ளது. இந்த வரைகோடுகள் மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலியின் சிறு வேறுபாடு காரணமாகத்தான் இரண்டு வரை கோடாக இருக்கிறது.

மின்தேக்கு திறனுக்காக மேலே பெறப்பட்ட கோவையானது (expression) திருப்பு பயாசிலுள்ள சந்திக்காக தருவிக்கப்பட்டதாகும். இந்நிலையில் திருப்பு மின்னோட்டம் I_R நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு வழியே ஓடுவதாக இருந்தாலும் அதன் மதிப்பு மிகக் குறைவாக இருப்பதால் அந்த அடுக்கில் மின்னூட்டம் பரவியிருப்பதை அது இடையூறு செய்வதில்லை. இதற்குமாறாக சந்தி முன்னோக்குப் பயாசைப் பெற்றிருந்தால் நிலைமை வேறாக இருக்கும். முதலாவதாக முன்னோக்குப் பயாசானது நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கை அகலம் குறைந்ததாக்கி விடும். ஏனெனில், இந்த முன்னோக்கு மின்னழுத்தம். V_0, சந்தியின் மொத்த மின்னழுத்தத்தை அதனுடைய சமநிலை மதிப்பு V_T -யிலிருந்து குறைத்து விடுகிறது. V_T தொடு மின்னழுத்தம் ஆகும். இதனால் மின் தேக்கு திறன் மிகுதிப்படும் என்று நாம் எதிர்பார்க்கலாம். இரண்டாவதாக முன்னோக்கு பயாசு மின்னோட்டம் I_F சந்தி வழியே ஓடும்போது அதன் அளவு அதிகமாயிருப்பதால் அது நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கில் உள்ள மின்னூட்ட அமைப்பைப் பாதித்துவிடும். எந்த ஒரு நேரத்திலும் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கில் மின்னூட்ட அமைப்பானது தூசு அயனி எண்ணிக்கை மட்டுமேயல்லாது அங்குள்ள ஊர்திகளின் எண்ணிக்கையையும் பொருத்திருக்கும். மின்னூட்டம் உயர்வதால் மின் தேக்கு திறனும் அதைப் பொறுத்து உயருகிறது. முன்னோக்கிய பயாசு டிரான்சிஸ்டரின் மின் தேக்கு திறன் சமநிலையில் இருக்கும்போது உள்ள மின் தேக்கு திறனைவிட இருமடங்கு அதிகமாய் இருக்கும். சமநிலையிலிருக்கும் சந்தியின் மின்தேக்கு திறனைக் கீழ்க்கண்ட தொடர்பால் அறியலாம்.

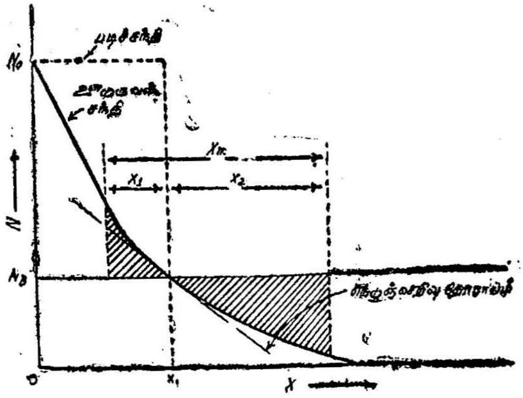
$$C_T = \sqrt{\frac{qKE_0N}{2\,V_T}} \qquad \ldots 7.95$$

சரிவாக அமைந்துள்ள சந்தியின் மின்தேக்கு திறன் (Graded Junction capacitance)

P-N சந்திகள் தயாரிக்கப்படும்போது பல்வேறு வகைகளில் தயாரிக்கப்படுகின்றன என்பது முன்பு ஒரு தலைப்பில் விவரிக்கப்பட்டது. படிச்சந்திகள் (Step junctions) தாம் நடைமுறையில் பெரும்பாலாக பயன்படுத்தப்பட்டு வருகின்றன. இந்தச் சந்திகளில் ஒரு தூசுப்பகுதியிலிருந்து மற்றொரு தூசுப்பகுதிக்குத் திடீரென்று மாற்றம் இருக்கும். முன்பகுதியில் சந்திகள் வெவ்வேறு முறைகளில் குறிப்பாக ஊடுருவல் முறையில் தயாரிக்கப்

படுகின்றனவென்று சொல்லப்பட்டது. இவ்வாறு ஊடுருவல் முறையில் தயாரிக்கப்பட்ட ஒரு சந்திதான் சரிவாக அமைந்துள்ள சந்தி எனப்படுகிறது. இவ்வாறு சரிவாக அமைந்துள்ள சந்தியில் ஒரு தூசுப் பகுதியிலிருந்து மற்றொரு தூசுப் பகுதிக்கு மாற்றமும் சரிவாகவே அமையும். ஆவி படியும் முறையில் (Vapour deposit method) தயாரிக்கப்பட்ட சரிவாக அமைந்துள்ள சந்தியின் பரப்புச் செறிவு ஒரு மாறிலியாகவே இருக்கும். இதிலுள்ள தூசு அமைப்பை ஒரு 'பிழைச்சார்பை' (error function) பயன்படுத்திக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

$$N(x) = N_0\left(1 - erf\frac{x}{\sqrt{4Dt}}\right) \quad ...7.96$$



படம் 7.22
சரிவுச் சந்தியில் தூசு அணு அமைப்பு

N_0-பரப்பில் செறிவு.

D-தூசு ஊடுருவல் மாறிலி.

t-ஊடுருவல் நேரம்.

குறைகடத்தியின் பரப்பில் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுள்ள செறிவிலிருந்து ஊடுருவல் தொடங்கினால் அதற்கான தூசு அணுக்களின் பங்கீட்டு முறையை அல்லது அமைப்பை 'காசியன்' (Gaussian) முறையில் கணக்கிட்டு அறிந்து கொள்ளலாம்.

$$(N_x) = N_0\, e^{-x^2/4Dt} \quad ...7{\cdot}97$$

இவ்வாறு பிழைச் சார்பிலோ அல்லது காசியன் பங்கீட்டு முறையிலோ இந்தத் தூசு அணுக்களின் அமைப்பைப் பெறலாம் அல்லது வேறு வகையிலும் இந்தத் தூசு அணு அமைப்பைப் பெற லாம். இதை எவ்வாறு பெற்றாலும் சந்தியின் குறுக்கே கடந்து செல்லும் புள்ளியில் தூசுச் செறிவைத் தோராயமாகக் கணக்கிட்டு அது நேர்ப்பாங்காக அமைந்திருப்பதைக் காணலாம். எனவே, ஊடுருவல் செய்யப்பட்ட அடுக்குகளில் தூசுச் செறிவு, பரப்பி லிருந்து விரைவாகக் குறைந்துகொண்டே செல்லும். கடக்கும் பகுதியில் இது ஏறத்தாழ மாறாச்சாய்வு உடையதாகக் கொள்ள லாம். இது படம் 7·22-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

நேர்ப்பாங்காக உள்ள ஒரு *P-N* சந்தியின் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் சிறப்பியல்புகளை நாம் இங்கே காண்போம். சரிவானசந்திக்குத் திருப்பிய மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படும்போது மின்னூட்டங்களின் அமைப்பு படம் 7·23-ல் காட்டியுள்ளது போல் அமைந்திருக்கும். இதில் தூசுச் செறிவு $x = 0$ புள்ளியில் நேர்ப் பாங்காக அமைந்திருக்கக் காணலாம்,

$$N(x) = ax \qquad \ldots 7{\cdot}98$$

a-என்பது ஒரு சரிவு மாறிலி (grade constant). இது அணு / செ·மீ^{4} அலகில் சொல்லப்படும். n-பகுதியிலுள்ள அயனியாக்கப்பட்ட கொடையணுக்கள் நேர் மின்னூட்டங்களைக் கொண்டிருக்கும். இதே போன்று P பகுதியில் அயனியாக்கப் பட்ட ஏற்பி அணுக்கள் எதிர் மின்னூட்டங்களைப் பெற்றிருக்கும். இவை ஒன்றையொன்று சரிசெய்துவிடும். தூசுகள் சரிவாக அமைந்திருப்பதால் மொத்த மின்னூட்டச் செறிவும் ஓர் நேர்ப் பாங்குச் செறிவாகவே இருக்கும்.

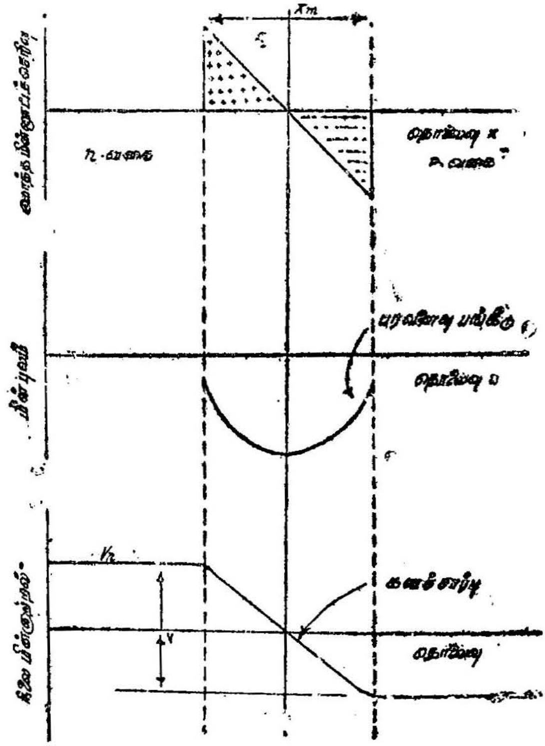
$$P(x) = -q\,ax \qquad \ldots 7{\cdot}99$$

q—எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம்.

a—சரிவுநிலை மாறிலி.

$x = 0$ புள்ளிக்கு இருபுறங்களிலும் ஒரு குறிப்பிட்ட தொலைவு x-க்கு பரப்புகள் சமமாக இருக்கின்றன. இதிலிருந்து நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு இரு பக்கங்களிலும் சமமாகப் பரவி யிருக்கிறது என்பதை இது காட்டுகிறது. இது படிச்சந்தியிலிருந்து மாறுபட்டது. படிச்சந்தியில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு உயர் தடைப் பகுதிப் பக்கம் மிகுதியாக இருக்கும்.

நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலம் x_m என்று கொண்டால், ஒவ்வொரு பக்கத்திலுமுள்ள நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலம் $x_m/2$ ஆகும். இந்த x_m-க்கும், கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தத்திற்கும் உள்ள தொடர்பைக்காண ஒரு பரிமாண 'பாய்சான்' சமன்பாட்டை எடுத்துக்கொள்வோம்.



படம் 7·23
சரிவுச் சந்தியில் சிறப்பியல்புகள்

$$\frac{d^2 v}{dx^2} = \frac{-P(x)}{KE_0} \qquad ...7.100$$

இதில் சமன்பாடு 7·99-ஐப் பொருத்த,

$$\frac{d^2 v}{dx^2} = \frac{qax}{KE_0} \qquad ...7.101$$

இதனைத் தொகைப்படுத்த,

$$\frac{dV}{dx} = \frac{qax^2}{2KE_0} + A \qquad ...7.102$$

மீண்டும் இதனைத் தொகைப்படுத்த,

$$V = \frac{qax^3}{6KE_0} + Ax + B \qquad ... 7.103$$

மாறிலி A-ன் மதிப்பைக் காண, கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தம் முழுவதும் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் குறுக்கே தான் இருக்கிறது என்ற கருத்தைப் பயன்படுத்தலாம்.

$x = \frac{x_m}{2}$ ஆனல், $\frac{dv}{dx} = 0$

$x = \frac{x_m}{2}$ ஆனலும் $\frac{dv}{dx} = 0$

இந்த நிபந்தனைகளைச் சமன்பாடு 102-ல் பொருத்த,

$$E = \frac{dv}{dx} = \frac{q\,ax^2}{2\,KE_0} - \frac{q\,a\,x_m^2}{8\,KE_0} \quad \left[- \frac{x_m}{2} < x < \frac{x_m}{2}\right] \qquad ...7\cdot104$$

இந்தச் சமன்பாடு மின்புலம் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கில் தொலைவை எவ்வாறு சார்ந்திருக்கிறது என்பதைக் காட்டுகிறது. இது ஒரு பரவளையச்சார்பு (parabolic function). இது படம் 7·23-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

$x = 0$-வில் இந்த மின்புலம் பெருமமாயிருக்கும்.

$$E_m = - \frac{q\,a\,x_m^2}{8\,KE_0} \text{ வோல்ட் / செ.மீ.} \qquad ... 7\cdot105$$

$-\frac{x_m}{2}$-ல் உள்ள மின்னழுத்தம் V_n-க்கும், $\frac{x_m}{2}$-ல் உள்ள மின்னழுத்தம் V_p-க்குமிடையேயுள்ள வேறுபாடு கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தம் V-க்குச் சமமாகும்.

$$V = V_n - V_p \qquad ...7.106$$

இவற்றைப் பயன்படுத்தி x_m-ன் மதிப்பைக் காணலாம்.

$$x_m = \left[\frac{12\, K E_0 V}{qa}\right]^{\frac{1}{3}} \quad \dots 7{\cdot}107$$

எனவே, சரிவாக அமைந்த சந்தியில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலம் மின்னழுத்தத்தின் மும்மடி மூலத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். படிச்சந்திக்கு x_m மின்னழுத்தத்தின் இருமடி மூலத்திற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கக் கண்டோம். மேலும் மின் தேக்கு திறன்,

$$C = \frac{K E_0}{x_m}$$

இது இணைத்தகடு மின்தேக்கிக்கான கோவை. இதைப் பயன் படுத்தினால் சரிவான அமைப்புக்கொண்ட சந்தியின் மின்தேக்கு திறன்,

$$C_T = \left[\frac{(K E_0)^2\, q}{12}\right]^{\frac{1}{3}} \left(\frac{a}{v}\right)^{\frac{1}{3}} \text{பாரட்/செ.மீ}^2 \quad \dots 7{\cdot}108$$

இங்கு மின்தேக்கு திறன் $V^{+\frac{1}{3}}$-க்கு எதிர்விகிதத்தில் அமை கிறது.

ஊடுருவல் முறையில் தயாரிக்கப்பட்ட P-N சந்தியை நேர் பாங்காகச் சரிவாக அமைந்துள்ள சந்தியாகக் கொண்டு இந்தத் தோராயத்தின் அடிப்படையில் மேலே கொடுக்கப்பட்டுள்ளபடி மின்தேக்கு திறனுக்கான கோவை கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இந்தத் தோராயம் சரியானதுதான் என்று பரிசோதனைகள் மெய்ப்பித்துள்ளன. ஊடுருவல் சந்தியின் மின்தேக்குதிறன் மின்னழுத்தத்தோடு எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதைப் பரிசோதனை மூலம் கண்டுபிடித்தனர். பரிசோதனைகள் இந்த மின்தேக்குதிறன் குறைந்த மின்னழுத்தங்களில் மின்னழுத்தத் தின் மும்மடி மூலத்திற்கு எதிர்விகிதத்திலிருக்கக்கண்டனர். எனவே, இந்தத் தோராயம் சரியானதுதான் என்று கொள்ள லாம். உயர் மின்னழுத்தங்களில் மும்மடி மூல எதிர்விகிதம் சரிவாகக் குறைந்து இருமடி மூல எதிர்விகிதமாக ஆவதைக் காணலாம். அதாவது, ஊடுருவல் சந்தி மெதுவாகப் படிச்சந்தி யாக மாறிக்கொண்டே வருவதை இது காண்பிக்கிறது. $V^{-\frac{1}{3}}$ க்கும் $V^{-\frac{1}{2}}$க்கும் இடையேயுள்ள நெருக்கத்திலுள்ள இயங்குமுறைதான்

மிக முக்கியத்துவம் வாய்ந்தது. இந்தப் பகுதியில் இருக்குமாறு சந்திகள் வடிவு அமைப்புச் செய்யப்பட்டன.

ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாடு (Einstein Equation)

ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாடு என்பது நகர்வுத்திறனுக்கும் ஊடுருவல் மாறிலிக்கும் உள்ள தொடர்பைத் தரும் ஒரு முக்கியமான சமன்பாடு ஆகும். ஒரு P-N சந்திகளில் உள்ள ஊர்திகளின் செறிவு மிகக் குறைந்ததாக இருப்பதைக் கொண்டுதான் ஊடுருவலைப் பற்றி விளக்கிச் சொல்லப்பட்டது. இந்தநிலையில் ஒவ்வோர் ஊர்தியும் மின்புலத்தில் இங்குமங்குமாக நகர்ந்து ஒழுங்கற்று ஊடுருவல் முறையில் செல்லுகிறது என்று கொள்ளலாம். இது மற்ற ஊர்திகளைப்பற்றிக் கவலைப்படுவதில்லை. மேலும், கொடுக்கப் படும் மின்புலமானது வலிமை குறைந்ததாகவே எடுத்துக் கொண்டிருக்கிறோம். மின்புலத்தின் வலிமை ஊர்திகளின் சமநிலை வேகப்பங்கீட்டை மாற்றுமளவுக்கு இருக்காது. இதனால் தான் மின்புலத்தின் முதல் பகுதியைமட்டும் எடுத்துக்கொள் கிறோம்.

எடுத்துக்காட்டாக, துளைகளை எடுத்துக்கொண்டால் துளை மின்னோட்டத்தை ஊடுருவல் மின்னோட்டச் செறிவின் அடிப்படையில் எழுதலாம். இதன் கூடவே துளைச்செறிவின் வாட்டத் தாலும் மின்னோட்டம் இருக்கும்.

$$I_p = q\mu_p P E - q D_p \Delta_p \qquad \ldots 7\cdot 109$$

$$I_n = q\mu_n n E + q D_n \Delta_n \qquad \ldots 7\cdot 110$$

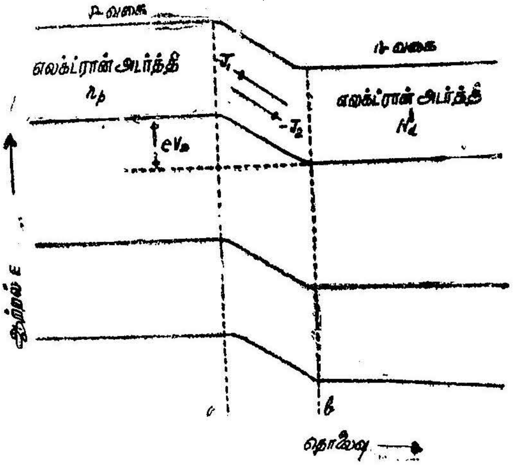
துளை மின்னோட்டத்திலுள்ள எதிர்க்குறி மின்புலம் இல்லாத போது துளைகளின் ஊடுருவல் திசை p-ன் எண்ணிக்கை அதிகரிக் கும் திசைக்கு எதிரிலிருக்கும் என்பதைக் குறிக்கிறது. எலக்ட் ரானின் மின்னூட்டம் எதிர்க்குறி கொண்டிருப்பதால் சமன்பாடு 7-110 ல் நேர்க்குறி இருக்கிறது. இந்தச் சமன்பாடுகளை ஒரு பரிமாணத்தில் (x-திசையில்) எழுதினால்,

$$I_p = q\,\mu_p P E - q D_p \frac{\partial p}{\partial x} \qquad \ldots 7\cdot 111$$

$$I_n = q\,\mu_n n E + q D_n \frac{\partial n}{\partial x} \qquad \ldots 7\cdot 112$$

இங்கு E-என்பது மின்புல வலிமையைக் குறிக்கிறது. n-என்பது நெருக்கமிழந்த பகுதியில் எலக்ட்ரான் செறிவைக் குறைக்கிறது.

படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் $(q\mu_n n E)$ என்பது P வகைப் பகுதியிலிருந்து n-வகைப் பகுதிக்கு மின்னழுத்தமேட்டில் இறங்கிச் செல்லும் எலக்ட்ரான் நகர்வு மின்னோட்டமாகும். $\left(q D_n \frac{\partial n}{\partial x}\right)$ என்பது எலக்ட்ரான்களைப் பெரும்பான்மை ஊர்திகளாகக் கொண்ட n-வகைப் பகுதியிலிருந்து p-வகைப் பகுதிக்கு (எலக்ட்ரான்கள் சிறுபான்மை ஊர்திகளாக இருக்கும்) ஊடுருவல் மின்னோட்டத்தைக் குறிக்கிறது.



படம் 7·24
P-N சந்தியில் எலக்ட்ரான் அடர்த்தியும் துளை அடர்த்தியும்

மின்புலம் வெப்பச்சமநிலையில் தோற்றுவிக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இதன்பயனாக P-N சந்தியில் ஓரலகு நேரத்தில் சந்தியைக் கடந்துசெல்லும் ஒவ்வொரு துளைக்கும் எதிராக வேறு ஒரு துளை எதிர்த்திசையில் அதே வேகத்தில் கடந்துசென்று விடும். இதுதான் சமநிலை என்று கூறப்படுகிறது. இத்தகைய சமநிலை I_p சுழியாக வேண்டும். சமநிலையில் துளைச்செறிவு போல்ட்ஸ்மென் எண்ணைச் $\left[e^{-q\phi / KT}\right]$ சார்ந்து இருக்கிறது.

$$P = A e^{-q\phi / KT} \qquad \ldots 7.113$$

A-என்பது N_vஐயும் E_fஐயும் கொண்டிருக்கும் மாறிலி. இதைப் பற்றித் தோற்ற ஃபெர்மி மட்டத்தைப்பற்றிக் கூறும்போது விரிவாகக் கூறப்பட்டிருக்கிறது.

சமன்பாடு 7·113ஐச் சமன்பாடு 7·111-ல் பதிலீடு செய்து $I_p = Q$ என்று எழுத,

$$Q = q\,\mu_p\,P\,E - q\,D_p\,\frac{d}{dx}\left[A\,e^{-q\phi/KT}\right]$$

$$O = p\,\mu_p\,P\,E - q\,D_p\,.AE^{-q\phi/KT}\left(-\frac{q\phi}{KT}\right)$$

$$= q\left(\mu_p - \frac{q}{KT}\,.\,D_p\right)P\,E.$$

அல்லது,

$$\mu_p = \frac{q}{KT}\,.\,D_p.$$

$$\therefore\ \frac{\mu_p}{D_p} = \frac{q}{KT}$$

— இதுதான் ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாடு எனப்பட்டது. ...7·114

இதேபோன்று கடத்துப்பட்டையில் உள்ள எலக்ட்ரானுக்கும்

$$\frac{\mu_n}{D_n} = \frac{q}{KT}$$ — எனக் காட்டலாம். ... 7·115

நகர்வுத் திறனுக்கும், ஊடுருவல் மாறிலிக்குமுள்ள இந்தத் தொடர்பு 'ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாடு' எனப்படும்.

வினாக்கள்

1. ஒரு *p-n* சந்தியில் தோன்றும் மின்னழுத்தத் தடுப்பு என்பது என்ன? விளக்குக.

2. ஒரு *p-n* சந்தி டயோடில் உள்ள மின் ஊர்திகளின் (எலக்ட்ரான், துளை) ஆற்றல் மட்டங்களை மின்னழுத்தமாகக் குறிப்பிடலாம் என்று விளக்கிக் காட்டு.

3. சமநிலையில் வெளி மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படாத நிலையில் *p-n* சந்தியில் உள்ள ஒரு மின்னழுத்தத்திற்கான (contact potential) கோவையைத் தருவி.

4. ஒரு வெளி மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படும்போது சந்தியில் தோன்றும் மாறுபாடுகள் யாவை? விளக்கி எழுது.

5. ஒரு p-n சந்தியிலுள்ள ஊர்தி மின்னோட்டங்களையும், உட்புகுத்தல் மட்டம்பற்றியும் வரைபடங்களுடன் விளக்கிக் காட்டு.

6. ஒரு p-n சந்தியில் தோற்ற ஃபெர்மி மட்டத்தைப் பயன்படுத்தி ஊர்திச் செறிவுகள் தீர்மானிக்கப்படலாம் என்று காட்டு.

7. தொடர்ச்சிச் சமன்பாடு என்பது என்ன? ஒரு குறைகடத்தி p-n சந்தியின் இயக்க முறையைத் தீர்மானிக்கும் தொடர்ச்சிச் சமன்பாட்டைத் தருவி.

8. ஒரு p-n சந்தியில் முன்னோக்கிய பயாசில் தோன்றும் மின்திசை மின்னோட்டத்தைத் தொடர்ச்சிச் சமன்பாடுகொண்டு எவ்வாறு விளக்கலாம்? மொத்த மின்திசை மின்னோட்டத்திற்கான ஒரு கோவையைத் தருவி.

9. திருப்பிய பயாசில் p-n சந்தி இருக்கும்போது அதில் தோன்றும் திருப்புதிசை மின்னோட்டத்தைத் தொடர்ச்சிச் சமன்பாடுகொண்டு எவ்வாறு விளக்கலாம்.

10. ஒரு p-n சந்தி தோற்றுவிக்கப்படும்போது அதில் ஒரு மின்தேக்கு திறன் இருக்கும் எனக் காட்டு. ஒட்டிய சந்தியில் தோன்றும் மின்தேக்கு திறனுக்கு ஒரு கோவையைத் தருவி.

11. சரிவாக அமைந்துள்ள சந்தியின் மின்தேக்கு திறனுக்கு ஒரு கோவையைத் தருவிக்கவும்.

12. ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாடு என்பது என்ன? அது நகர்வு திறனையும் ஊடுருவல் மாறிலியையும் எவ்வாறு தொடர்பு படுத்துகிறது?

13. கீழ்க்கண்டவற்றிற்குச் சிறுகுறிப்பு வரைக:

(a) மின்னழுத்தத் தடுப்பு.

(b) நெருக்கம் குறைந்த பகுதி அல்லது கடக்கும் பகுதி.

(c) தோற்ற ஃபெர்மி மட்டம்.

(d) தொடு மின்னழுத்தம்.

(e) நெருக்கம் குறைந்த பகுதியின் அகலமும் அதன் மாறுபாடும்.

14. ஒரு ஜெர்மேனிய p-n சந்தியின் p-பகுதியின் மின்தடை 0.2 ஓம் செ.மீ. n-பகுதியின் தடை 0.01ஓம் செ.மீ. அதில் மின் அழுத்தம் செலுத்தப்படவில்லை யென்றல் அதனுள் இருக்கும் தடுப்புமின்னழுத்தம் நெருக்கமிழந்த பகுதியின் அகலம் மற்றும் சந்தி மின்தேக்குதிறன் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடு.

15. ஒரு p-n சந்தியின் குறுக்குவெட்டுப் பரப்பளவு S ஆகும். குறுக்கே பாயும் மின்னேட்டம்,

$I = SI_s \; exp.\left(\frac{ev}{KT}\right)$ என்றல், அறை வெப்பநிலையில் மின் தடையில் உயர்வு $\frac{\delta V}{\delta I}$ ஆல் தீர்மனிக்கப்படுகிறது என்பதையும் அது $\frac{1}{40\;I}$ -க்குச் சமம் என்றும் காண்பி.

16. ஒரு p-n சந்தி டயோடில் பாயும் மின்னேட்டம்

$I = I_s \; exp.\left(\frac{ev}{KT} - 1\right)$ என்ற சமன்பாட்டால் நிறுவப் படுகிறது. $I_s = 20 \; \mu A/$செ.மீ^{2} என்றல் 2 ஆம்பியர்/செ.மீ^{2}. மின்னேட்டம் ஏற்படத் தேவையான மின்னழுத்தத்தின் மதிப்பைக் கணக்கிடு. (குறுக்குவெட்டுப் பரப்பு 0.01 ச.செ.மீ. $\frac{KT}{e} = \frac{1}{40}$ வோல்ட்.

17. $I_s = 50 \; \mu A$ ஆக இருக்கும்போது ஒரு p-n சந்தியின் குறுக்கே கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தம் $0V, -10V, -50V, 0.01V, 0.02V$ என்றல் டயோடில் மின்னேட்ட மதிப்பைக்கணக்கிடு. $\left(\frac{KT}{e} = \frac{1}{40}\right.$ வோல்ட் $\Big)$

18. ஒரு ஜெர்மேனிய p-n சந்தி டயோடில் p-பகுதியின் மின் தடை 0.02 ஓம்-செ.மீ. n-பகுதியின் மின்தடை 0.1 ஓம்-செ.மீ. சந்தியில் எலக்ட்ரான் மின்துளை மின்னேட்டங் களின் விகிதங்களைக் கணக்கிடு. இதில் படிகத்தின் மொத்த நீளம் ஊடுருவல் நீளத்தைவிட அதிகம் என நிறுவுக.

19. மேலேயுள்ள கணக்கில் ஒவ்வொரு பகுதியிலும், இருவகை ஊர்திகளின் வாழ்வு நேரம் 100 μ விநாடிகள். சிறுபான்மை ஊர்திகளின் வாழ்வு நேரங்கள் முறையே 75μ விநாடிகள், 50μ விநாடிகள். படிகத்தின் குறுக்குப் பரப்பு 0.01 ச.செ.மீ.

என்றால் தெவிட்டிய மின்னோட்டத்தின் மதிப்பைக் கணக்கிடு. இதில் எத்தனை சதவீதம் மின்துளைகளால் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது?

20. ஒரு ஜெர்மேனிய p-n சந்தி டயோடில் p-பகுதியில் மின்தடை 1 ஓம்-செ.மீ. $\mu_p = 1700$ செ.மீ^{2}/வோல்ட்—விநாடி. துளைகளின் வாழ்வு நேரம் 80μ விநாடிகள். n-பகுதியில் மின்தடை 0.1 ஓம்-செ.மீ. எலக்ட்ரானின் வாழ்வு நேரம் 100μ விநாடி. $\mu_n = 3600$ செ.மீ^{2}/வோல்ட்—விநாடி. $u_i = 2.5 \times 10^{13}$ (a) சந்தியில் 1 வோல்ட் திருப்பிய பயாசு கொடுக்கப்படும்போது சந்தியின் நீளவாக்கில் தோன்றும் சிறுபான்மை ஊர்திகள், மின்னோட்ட அடர்த்தி ஆகியவற்றின் பங்கீட்டைக் கணக்கிடு. (b) சந்தியில் 0.1 வோல்ட் முன்னோக்கிய பயாசு பெற்றிருக்கும்போது சிறுபான்மை ஊர்திகள், மின்னோட்ட அடர்த்தி ஆகியவற்றின் பங்கீட்டைக் கண்டுபிடி.

21. சரிவாக அமைந்துள்ள ஒரு p-n சந்தியில் தோன்றும் மின்தேக்குதிறன்

$$C = \left[\frac{eaE^2}{12V_T}\right]^{\frac{1}{3}}$$ எனத் தருவித்துக் காட்டு.

a = என்பது ஒரு மாறிலி.

22. ஒரு வோல்ட் திருப்பிய பயாசு கொடுக்கப்படும்போது ஒரு ஜெர்மேனிய p-n சந்தியின் பரப்பு 10^{-13} ச செ.மீ. ஆகும். சந்தியின் மின்தேக்குதிறனைக் கணக்கிடு. n-வகைப்பகுதியில் கடத்துதிறன் 1 மோ/செ.மீ. p-பகுதியில் கடத்துதிறன் 2மோ/செ.மீ.

23. ஒரு சந்தியில் நெருக்கமிழந்த பகுதி என்பது என்ன? ஒரு p-n சந்தியில் மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படும்போது நெருக்கமிழந்த பகுதியில் தோன்றும் மாறுபாட்டை விவரித்து எழுது? இந்த p-n சந்தியில் ஒரு மின்தேக்குதிறன் உள்ளது எனக் காண்பி.

24. p-வகைப் பகுதியில் ஏற்பி அணுச்செறிவு n-வகைப் பகுதியிலுள்ள கொடை அணுச்செறிவைவிட மிகுதியாக

இருக்கும்போது வெளி மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படாத நிலையில் *p-n* சந்தியில் நெருக்கம் இழந்த பகுதியின் அகலம்,

$$\left[\frac{2E\,\mu_n\,V_B}{\sigma_n}\right]^{\frac{1}{2}}$$ எனக்காட்டு.

25. தொடர்ச்சிச் சமன்பாட்டைத் தருவிக்கும்போது மூன்றே மூன்று செயல்களைத்தான் கணக்கில் எடுத்துக்கொண்டோம். குறைகடத்தியில் மின்புலம் வெப்பநிலைச்சரிவோடு கீழ்க் கண்டவாறு தொடர்புடையது எனக் கொள்வோம்.

$$dE = KdT$$

E-மின்புலம், K-மாறிலி, T-வெப்பநிலை.

இதன் பயனாகத் தொடர்ச்சிச் சமன்பாட்டில் செய்யப்பட வேண்டிய திருத்தம் அல்லது சேர்க்கப்பட வேண்டிய புதிய பகுதி எது எனக் கணக்கிடு.

8. P - N சந்தியின் சிறப்பியல்புகள்

மின்னோட்டம்

ஒரு குறைகடத்தியில் ஒரு P-N சந்தியில் P-பகுதியின் மின் தடை n-பகுதியின் மின்தடையைவிட மிகமிகக் குறைவாக இருக்கும். இதில் மின்னோட்டமானது பெரும்பாலும் துளைகள் ஊடுருவுவதனாலேயே தோன்றுகிறது எனக் கண்டோம். முன் னோக்கிய பயாசில் ஒரு P-N சந்தி இருக்கும்போது இந்தத் துளைகள் சிறுபான்மை ஊர்திகளாக n-பகுதிக்குள் உட்புகுத்தப்படும். இங்கே, இவை அவற்றின் வாழ்வு நேரத்திற்கு ஏற்றவாறு எலக்ட் ரான்களுடன் ஒன்றிவிடும். திருப்பிய பயாசில் மின்னோட்ட மானது n-பகுதியில் இந்தச் சிறுபான்மை ஊர்திகளான துளைக ளாலேயே ஏற்படுகிறது. இவை சந்தியின் ஊடுருவல் நீளத்தில் நகர்ந்து நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கில் புகுந்துவிடுகின்றன. பிறகு அவை மின்புலத்தால் சந்தியைவிட்டு விலகிச்செல்லுமாறு செய்யப்படுகிறது. இந்த இரு முறைகளிலும் எலக்ட்ரானின் பங்கு தள்ளிவிடத்தக்க அளவுக்கு மிகக் குறைவாகவே இருக்கிறது என்று நாம் கொள்ளுகிறோம். முதற்பகுதியில் கண்டுள்ளபடி சந்தியில் மின்னோட்டமானது கீழ்வரும் சமன்பாட்டால் தரப் படும்.

$$I = \frac{q\ A\ D_p\ P_n}{W}\left(e^{qV/KT} - 1\right) \qquad \dots 8\cdot 1$$

இதில் n-பகுதியில் ஊடுருவல் நீளம் அதன் தடிமன் W-வைவிட மிக அதிகமாக இருப்பதாக எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது. முன்னோக்கிய திசையில் மின்னோட்டமானது மின்னழுத்தத்தோடு அதிகரிக்கிறது. ஆனால், திருப்பிய பயாசில் திருப்பு மின்னோட்ட மானது விரைவாகத் தெவிட்டிய நிலையை அடைந்து ஒரு மாறா மதிப்பில் தொடர்கிறது. P-N சந்திப்பின் இந்த நேர்கோட்டுப் பாங்கற்ற தன்மை அதை ஓர் உயர்தரமான மேம்பாடுற்ற தர மிக்க அலைதிருத்திக் கருவியாக செயற்படச் செய்கிறது.

இந்தப் பகுதியில் ஒரு P-N சந்தி எவ்வாறு செயற்படுகிறது என்பதும், அதன் சிறப்பியல்புகளும் விளக்கப்பட்டுள்ளன. இங்கு

அலைதிருத்திக்காக மட்டுமே அதன் குணங்களையும் தன்மைகளையும் விளக்கப்பட்டிருந்தாலும் ஒரு *P-N* சந்தியின் மின்வழிக்குணங்களும் (electrical properties), தன்மைகளும் மிக முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை. ஏனெனில், இந்த *P-N* சந்தி, டிரான்சிஸ்டரின் ஒரு முக்கியமான உறுப்பாகும். முன்னோக்கிய திசையிலும், திருப்பிய திசையிலும் சந்திகள் செயற்படும் முறைகள் தெளிவாக விளக்கப் பட்டிருக்கின்றன. அத்தோடு ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகிய இரண்டும் ஒப்பிடப்பட்டுள்ளது. திருப்பிய திசையிலும், முன்னோக்கிய திசையிலும் மின்னழுத்தம், மின்னோட்டம் ஆகியவற்றின் வரம்புகளையும் இங்குக்காணலாம். அதிர்வெண்கள் மிகுந்த துடிப்பு மின்னோட்டத்திற்கு இந்தச் சந்தி எவ்வாறு செயற்படுகிறது என்பதும் விளக்கப்பட்டிருக்கிறது.

திருப்பு மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புகள்

சமன்பாடு 8·1-லிருந்து திருப்பு மின்னோட்டம் I_Rஐக் கணக்கிடலாம். *V* எதிர்க்குறி கொண்டதாகவும் 0·1 வோல்ட்டை விட அதிகமாகவும் இருக்கும்போது சந்தியில் தெவிட்டிய திருப்பு மின்னோட்டம் கீழ்க்காணும் சமன்பாட்டால் தரப்படும்.

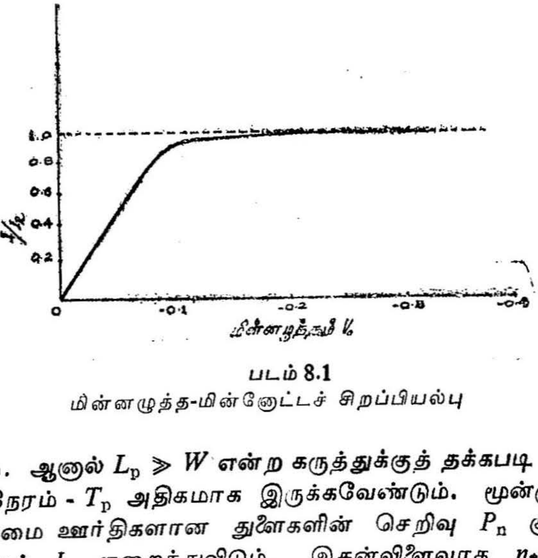
$$I_R = \frac{q\,A\,D_p\,P_n}{W} \qquad \dots 8{\cdot}2$$

இதில் I_Rஐ ஓர் அலகுக்குச் சமமாக்கிச் சமன்பாடு 8·1ஐ 8·2 ஆல் வகுக்க,

$$I\,/\,I_R = \frac{e^{qV/KT}}{T}$$

V-க்கும் I_R-க்கும் ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் அது படத்தில் உள்ளதுபோல் இருக்கும். 0·1 வோல்ட்டுக்கு மிகுதியாக உள்ள மின்னழுத்தங்கள் 'மின்னழுத்தம் தெவிட்டிய நெடுக்கம்' என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. ஏனெனில், இந்த மின்னழுத்தங்களின் மின்னோட்டமானது விரைவாக மாறுமதிப்பை அடைந்துவிடுகிறது. I_R-ன் மதிப்பு சில மைக்ரோ ஆம்பியர் அளவில் மிகக் குறைவாக இருந்தால் திருப்பிய பயாசு பெற்ற சந்தியின் மின்தடை மிக அதிகமாக மெகோ ஓம் அளவில் இருக்கும். எடுத்துக்காட்டாக 5 வோல்ட்டில் அளக்கப்படும் திருப்பு மின்னோட்டம் 1 மைக்ரோ ஆம்பியராக இருந்தால், மின்தடை 5 மெகோ ஓமுக்குச் சமமாகும். நடைமுறையில் மின்சுற்றுகளில் இந்த மதிப்பு ஒரு திறந்த சுற்றுமதிப்பாக அமையும். மாறுதிசை மின்னோட்டத்

திற்கு இந்த மின் தடையைக் கணக்கிட V-I சிறப்பியல்பு கோட்டின் சாய்வை எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். படம் 8·1-ல் இருந்து இந்தச் சாய்வு ஏறத்தாழச் சுழியாக இருக்கக்காண்கிறோம். இதன் பொருள் கொள்கைவழி இயக்க மின்தடை (dynamic resistance) பல்லாயிரம் மெகோ ஓம்களாக இருக்கிறது என்றாகும். ஆனால், இந்த மின்தடை குறைவாகவே இருக்கிறது. சமன்பாடு 2-லிருந்து I_R-ன் தெவிட்டிய மதிப்பு மிகக் குறைவாகவே இருக்க வேண்டுமென்று தெரிகிறது. சந்தியின் குறுக்குப் பரப்பைக் குறைப்பதன் மூலம் I_Rஐக் குறைத்துவிடலாம். இரண்டாவதாக, n-பகுதியின் தடிமன் W-வை அதிகரிப்பதன் மூலம் I_Rஐக் குறைத்து

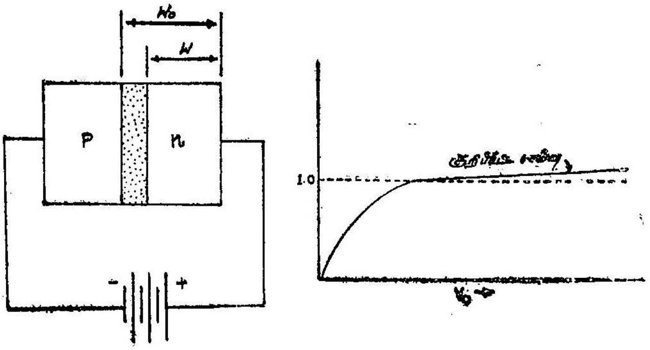


படம் 8.1
மின்னழுத்த-மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பு

விடலாம். ஆனால் $L_p \gg W$ என்ற கருத்துக்குத் தக்கபடி துளையின் வாழ்வு நேரம் - T_p அதிகமாக இருக்கவேண்டும். மூன்றாவதாக, சிறுபான்மை ஊர்திகளான துளைகளின் செறிவு P_n குறைக்கப் பட்டாலும் I_R குறைந்துவிடும். இதன்விளைவாக n-பகுதியின் மின்தடை குறைகிறது என்று கொள்ளலாம். இதையே வேறு வகையாகச் சொன்னால் திருப்பிய மின்னோட்டம் மின்தடையோடு அதிகரிக்கிறது. முன்பே கூறியுள்ளபடி ஒரே மின்தடையில் P_n- சிலிக்கானுக்கு ஜெர்மேனியத்தைவிடக் குறைவாகவே இருக்கும். ஆகவே, மற்றக் குணங்கள் ஒத்திருக்கும்போது திருப்பிய மின்னோட்டம் ஜெர்மேனியத்தில் மைக்ரோ ஆம்பியர் அளவில் இருக்கும். ஆனால், சிலிக்கானில் இதே திருப்பிய மின்னோட்டம் மைக்ரோ-மைக்ரோ ஆம்பியர் அளவில் இருக்கும். சிலிக்கானில் இவ்வளவு மிகமிகக் குறைந்த மின்னோட்டம் ஒரு கொள்கைவழி மதிப்பேயாகும். இருந்தாலும், நடைமுறையில் பரப்பு விளைவு

களும், மின்னேட்டம் தோன்றும் செயலும் இந்த மதிப்பை மில்லி மைக்ரோ ஆம்பியர் அளவில் கொண்டுவந்து விடுவதைக் காண லாம். இந்த மதிப்பு, சிலிக்கான் சந்திகளைக்கொண்டு செய்யப் படும் பரிசோதனைகளில் காணப்படுகிறது.

உண்மையில் திருப்பிய மின்னழுத்தத்தோடு நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலம் விரிவடைவதைக் கணக்கில் எடுத்துக் கொண்டு சமன்பாடு 2ஐத் திருத்தி அமைக்க வேண்டும். முந்தைய தலைப்பில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் தடிமன்-x_m கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தத்தின் இருமடி மூலம் அல்லது மும் மடி மூலத்திற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கக் கண்டோம். இது சந்தியின் தன்மையைப் பொறுத்தது. சமநிலைமையில் இந்தத்



படம் 8·2
திருப்பிய பயாசில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு அகலமாதல்

தடிமன் W_0 ஆக இருந்தால் விளைவுத் தடிமன் Wஐக் கீழ்க் கண்டவாறு எழுதலாம்.

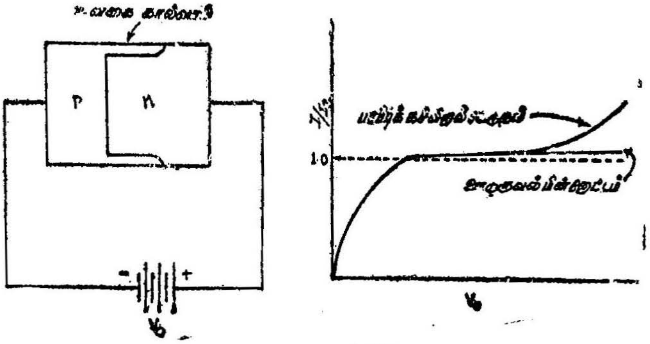
$$W = W_0 - x_m \qquad \ldots 8\cdot3$$

$$W = W_0 - \sqrt{V}\; K^{1/n} \qquad \ldots 8\cdot4$$

K-என்பது ஒரு மாறிலி. மின்னழுத்தத்தோடு W குறையும்போது அதற்கேற்றாற்போல் I_R-ன் மதிப்பு ஓங்கும். எனவே, V-I வளை கோட்டில் ஒரு குறிப்பிட்ட சாய்வு கிடைக்கும். இதனின்றும் முன்பு கூறியது போலல்லாமல் a·c இயக்க மின்தடை சற்றுக் குறைவாக இருக்கக் காணலாம். நடைமுறையிலுள்ள P-N சந்திக்

கருவிகளில் கொள்கைவழியில் காணப்பட்ட திருப்பு மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புகளைக் காண்பது அரிது. இதற்கு முக்கியமான காரணம் என்னவெனில் குறைகடத்தியின் மேற்பரப்பில் மிகுதி ஒழுகு மின்னோட்டத்தில் பெரும்பங்கு வகிப்பதேயாகும். *P-N* சந்தியின் குறுக்கேயுள்ள இந்தப் பரப்பு ஒழுகுமின்னோட்டம் திருப்புமின்னோட்டத்தின் மதிப்போடு கூட்டுக் கூறுக (additive component) அமைந்து விடும். *P-N* சந்திக்கு இணையான ஒரு கடத்துப்பட்டையாக அதன் பரப்பைக்கொண்டால் இதை எளிதாகப் புரிந்துகொள்ளலாம். ஆகவே, *P-N* சந்தியில் நாம் கணக்கிடும் திருப்புமின்னோட்டமானது உண்மைத் திருப்புமின் னோட்டம், பரப்பு ஒழுகுமின்னோட்டம் ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகையே ஆகும்.

குறைகடத்தி டையோடுகள் தயாரிக்கப்படும்போது அதில் பரப்பு ஒழுகு விளைவுகள் மிகமிகக் குறைவாக இருக்கும்படி



படம் 8.3
P-N சந்தியில் கால்வாய் பகுதியும் சிறப்பியல்பு வளைகோடும்

அவற்றின் பரப்புகளைத் தயாரிப்பது மிக முக்கியமானது ஆகும். பரப்பிலுள்ள ஈரமும், அயனி அடுக்குகளும் திருப்பிய மின்னோட்டத்தை அதிகரிக்கச் செய்கின்றன என்பது தெளிவு. ஆனல். உண்மையில் என்ன நடக்கிறது என்பதைத் தெளிவாக எடுத்துக் கூற முடியாது. ஒழுகு மின்னோட்டமானது பரப்பின் மேலுள்ள மெல்லிய அடுக்குகளிலுள்ள அயனிகளால்தாம் தோற்றுவிக்கப் படுகிறது என்று நம்பப்படுகிறது; அல்லது, தலைகீழ் அடுக்குகளி லுள்ள கடத்தலால் தோன்றுகிறது என்று கொள்ளலாம். தலைகீழ் அடுக்கானது படம் 8·3-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் இடைவெளிப் பகுதியாக இருக்கும். இந்த இடைவெளிப் பகுதியானது *n*-பகுதி

யின் பரப்பின்மேல் p-பகுதியின் விஸ்தரிப்பு அல்லது நீட்டிப்பு (extension) ஆகும்.

இதன் குணங்கள் சுற்றுச் சூழ்நிலையால் தீர்மானிக்கப்படு கின்றன. இது சந்தியின் குறுக்குப் பரப்பு அதிகரிப்பதைப் போன்றது. திருப்பு மின்னோட்டத்தின் இயங்குமுறையை விளக்குவதற்கு இந்த இடைவெளி அமைப்பு மிகவும் பொருத்த மானதாக இருக்கும். பரப்பு ஒழுகுவிளைவுகளைக்காட்டும் திருப்புமிட்னோட்டத்தின் சிறப்பியல்பு வளைகோடு இதே படத்தில் அடுத்துக்காட்டப்பட்டுள்ளது. உயர்மின் அழுத்தங் களில் இந்தத் திருப்புமின்னோட்டம் ஓரளவு அதிகரிக்கக்கூடும். இதனால் மின்தடை குறைவதை இது காண்பிக்கிறது. அத்தோடு திருப்புதிசையில் மின்திறன் வீணாவதையும் காட்டுகிறது. எனவே, டிரான்சிஸ்டார்களில் பயனுள்ள மின்திறனுக்கு ஓர் எல்லையை இது தீர்மானிக்கிறது.

திருப்புமின்னோட்டமும் வெப்பநிலையும்

ஒரு குறைகடத்திக் கருவியில் அது ஓர் அலைதிருத்தி யாகவோ அல்லது டிரான்சிஸ்டராகவோ எதுவாக இருந்தாலும் அது தயாரிக்கப்படும்போது அதனின்றும் கிடைக்கும் பெருமளவான திறனுக்கு அதைத் தயாரிப்பது வழக்கம். அது வேலை செய்யும்போது எவ்வளவு வெப்பநிலையை அது அடையும் என்பதைக் கணக்கிட்டு அதன் திறனைத் தீர்மானிப் பது வழக்கம். இது ஜெர்மேனியத்திற்கு ஏறத்தாழ $125°C$, சிலிக்கானுக்கு $250°C$. இந்த வெப்பநிலைகளுக்கப்பால் குறை கடத்தியின் கடத்துதிறன் தூய குறைகடத்தியின் கடத்துதிறனை அடைந்துவிடும். இதனால் P-N சந்தியானது அலைதிருத்தும் குணத்தை இழந்துவிடும். நடை முறையில் P-N சந்தியின் வெப்பநிலை ஜெர்மேனியத்தில் $100°C$-ஆகவும், சிலிக்கானுக்கு $200C°$-ஆகவும் இருக்கும்படி அமைக்கப்படுகிறது. இந்த வெப்ப நிலை சுற்றுப்புறத்தின் வெப்பநிலையாலும் மின்திறன் செல வழிக்கப்படுவதாலும் ஏற்படுகிறது. சுற்றுப்புறத்தின் வெப்பநிலை மிகுதியாக இருந்தால் சந்தியின் வெப்பநிலை மாறாது இருக்கும்படி செய்ய மின்திறன் செலவழிப்பது கட்டுப்படுத்தப்பட்டுக் குறைக்கப்படுகிறது.

இந்தக் காரணங்களினால் திருப்பிய மின்திறன் இழப்புக் குறைவாகயிருக்கவேண்டும். ஏனெனில், இது வீணாகிவிடுகிறது. வெப்பநிலை உயரும்போது ஒரு P-N சந்தியிலுள்ள திருப்பிய மின்னோட்டமும் அதிகரிக்கிறது. இதனால் ஒரு குறிப்பிட்ட

மின்னழுத்தத்தில் மின்திற இழப்பும் ஏற்படும். பரப்பு விளைவுகளை விட்டுவிட்டுத் திருப்பிய மின்னோட்டம் I_R-வெப்பநிலையோடு எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதைப்பார்க்கலாம். சமன்பாடு 8.2-லிருந்து ஊடுருவல் மாறிலி D_p-யும் சிறுபான்மை ஊர்திச் செறிவு P_n-ம் மட்டுந்தான் வெப்பநிலையைச் சார்ந்தவை எனத் தெரிகிறது.

$$D_p = \left(\frac{KT}{q}\right)\mu_p; \quad P_n = \frac{n_i^2}{N_d}$$ ஆகிய இரண்டையும்

பதிலீடு செய்தால்,

$$I_r = \frac{AK}{WN_d} \cdot T\mu_p \cdot n_i^2 \qquad \ldots 8.5.$$

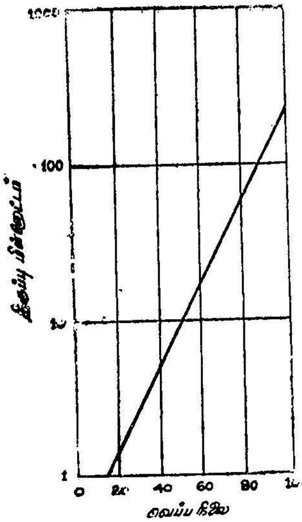
இதில், $n_i^2 \propto T^3 \, e^{E_g/KT}$ ... 8.6.

என்று ஏற்கெனவே காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. E_g-என்பது $0°K$-ல் பட்டை இடைவெளி ஆற்றல்.

ஜெர்மேனியத்தின் நகர்வு திறன் வெப்பநிலையோடு மாறுபடுவதையும் கண்டுபிடித்திருக்கிறோம். நகர்வுதிறன் T^{-2}-ன் நேர்விகிதத்தில் (ஜெர்மேனியத்தில்) இருப்பதாகக் கொள்ளலாம்.

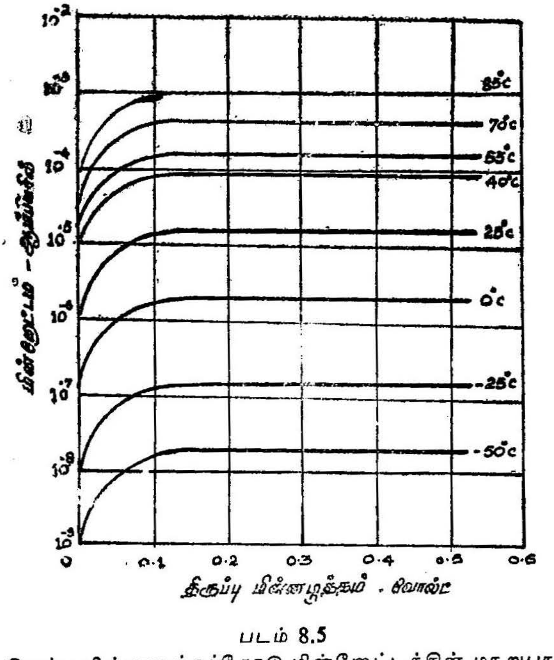
$$\therefore I_R \propto T^2 \, e^{E_g/KT}$$
(ஜெர்மேனியம்) ... 8.7

ஜெர்மேனியத்திற்கு $E_g = 0.785$ எலக்ட்ரான் வோல்ட். அறை வெப்பநிலையில் 27°C. I_R-ன் மதிப்பு எவ்வாறு வெப்பநிலையோடு மாறுபடுகிறது என்பதைப் படம் 8.4 காட்டுகிறது. நடைமுறையில் பயன்படுத்தப்படும் ஜெர்மேனியம் - அலைதிருத்தியில் மின்னழுத்தம் — மின்னோட்டம் வெவ்வேறு வெப்ப நிலைகளில்



படம் 84
P-N சந்தியின் வெப்பநிலையோடு திருப்பிய மின்னோட்டத்தின் மாறுபாடு

எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதை அடுத்துள்ள படம் 8.5. காட்டுகிறது. திருப்பிய மின்னோட்டங்கள் குறைந்த மின்னழுத்தத்தில், தெவிட்டிய மதிப்பருகில் அளக்கப்படுகின்றன. இவை பரப்பு ஒழுகுவிளைவுகளை நீக்கிவிட உதவும். இயல்பான வெப்பநிலைகளில் பரப்பு ஒழுகு மின்னோட்டம் திருப்பிய மின்னோட்டத்தைஅமுக்கிவிடுவதால் மொத்த மின்னோட்டம் ஓரளவுக்கு வெப்பநிலையைச் சார்ந்திராது. ஆனால், உயர்வெப்பநிலைகளில் மொத்த ஊடுருவல் மின்னோட்டம் மிகுதியாகி, ஒழுகுமின்னோட்டத்தைத் தள்ளிவிடத்தக்க அளவுக்குச் சிறியதாக்கிவிடுகிறது.



படம் 8.5
திருப்பு மின்னழுத்தத்தோடு மின்னோட்டத்தின் மாறுபாடு

சிலிக்கானில் நகர்வுதிறன் $T^{-2.6}$க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது. எனவே, சமன்பாடு 8.7 இதற்கு ஏற்றாற்போல் திருத்தி அமைக்கப்படுகிறது.

$$I_R \propto T^{1.4} e^{E_g/KT} \text{ (சிலிக்கானுக்கு)} \qquad .. 8.8$$

சிலிக்கான் P-N சந்திகளில் அறைவெப்பநிலையிலோ அல்லது உயர்வெப்பநிலைகளிலோ இந்த மின்னோட்டம் மிகமிகக்

குறைவாக இருக்கும். இது திருப்பிய மின்னோட்டமாக இருக்க முடியாது.

நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கில் மின்னோட்டம் தோன்றுதல்

ஷாக்லீ—ஹால் ஒன்றிடும் கொள்கைப்படி (Shockley-Hall recombination theory) ஒரு குறைகடத்தியின் வாழ்வு நேரம் ஊர்திகள் ஒன்றிடும் வீதத்தால் தீர்மானிக்கப்படுகிறது வேறு வகையில் சொன்னால் ஒன்றிடும் வீதத்தையும் தோற்றுவிக்கப் படும் வீதத்தையும் பொருத்து அமைவதாகக் கொள்ளலாம்.

$$R = \frac{nP - n_i^2}{T_{pr}\ (n + n_r) + Tn_r\ (P + P_r)} \qquad . \quad 8.9$$

இங்கு n, P-ஆகியவை ஊர்திகளின் எண்ணிக்கையைக் குறிக்கும். $nP \gg n_i^2$ ஆக இருந்தால் மொத்த ஒன்றிடும் வீதம் இடைக்கும். P-N சந்தி திருப்பிய திசைப் பயாசைப் பெற்றிருந்தால் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. அதாவது, சந்தியில் பெரும்பான்மை ஊர்திகள் வெளியேறி நெருக்கம் குறைந்து விடுகின்றன. மேலும், நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகல மானது கொடுக்கப்படும் திருப்பிய மின்னழுத்தத்தின் இருமடி மூலத்தோடு அல்லது மும்மடி மூலத்தோடு மாறுபடுகிறது. இதன் விளைவாக ஒன்றிடும் வீதம் எதிர்க்குறியாக இருக்க வேண்டும் என்று நாம் எதிர்பார்க்கலாம். அதாவது, ஊர்திகள் உமிழப்படுகின்றன அல்லது வெளிவிடப்படுகின்றன அல்லது தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. n, P ஆகிய ஊர்திகள் இந்த அடுக்கில் குறைவதைக் காண்பிப்பதற்கான சமன்பாடு,

$$e = \frac{n_i^2 - nP}{T_{pr}\ (n + n_r) + T_{nr}\ (P + P_r)} \qquad \ldots\ 8.10$$

e-என்பது ஊர்தி தோற்றுவிக்கப்படும் வீதம். நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கிலிருந்து எல்லாப் பெரும்பான்மை ஊர்திகளும் வெளியேறிவிட்டாலும் சமன்பாடு 8.10-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ள n-ம் P-ம் சிறுபான்மை ஊர்திகளைக் குறிக்கின்றன. இவை அடுத்துள்ள P, n-பகுதிகளிலிருந்து பின்னோக்கிய பயாசு இருக்கும் போது இந்த நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கிற்குள் ஊடுருவி வருபவை. இதுதான் முன்பே விளக்கப்பட்ட ஊடுருவல் மின்னோட்டமாகும். இது நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு வழியே ஓடும்.

இயல்பான வெப்பநிலைகளில் சிலிக்கானில் n-ம், P-ம் மிகக் குறைவாக இருக்கும். எனவே, சமன்பாடு 8.10-ஐத் திருத்தி எழுதினால்,

$$e = \frac{n_i^2}{T_{pr}\, n_r + T_{nr}\, P_r} \qquad \ldots 8.11$$

T_{pr}, T_{nr} - ஆகிய இரண்டும் வரம்பு வாழ்வு நேரங்கள். இவை தூசு அணுக்களின் செறிவால் தீர்மானிக்கப்படுகின்றன. n_r, P_r-ஆகிய இரண்டும் சமநிலைமைச் செறிவாகும். ஒன்றிடும் இடம் ஆற்றல் பட்டையின் நடுப்புள்ளியிலிருந்தால், $n_r = P_r = n_i$ ஆகும் எனத் தெரியும்.

$$\therefore e = \frac{n_i}{T_{pr} + T_{nr}} \text{ ஏனெனில், } E_R = \frac{E_g}{2} \qquad \ldots 8.12$$

x_m-என்பது நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலம், A அதன் பரப்பு, q-எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் என்று கொண்டால், நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கில் தோற்றுவிக்கப்படும் மின்னோட்டம்.

$$I_g = K\, q\, e\, A\, x_m \qquad \ldots 8.13$$

K-என்பது நேர்விகித மாறிலி. இது திருப்பிய மின்னழுத்தம் V, 1-வோல்ட்டுக்கு அதிகமாக இருக்கும்போது ஓரலகு ஆகிவிடும். x_m-, மின்னழுத்தத்தின் இருமடி மூலம் அல்லது மும்மடி மூலத்தோடு மாறுபடுவதால் அதற்கேற்றாற்போல் I_g-ன் மதிப்பும் மாறுபடும். இவற்றிலிருந்து P-N சந்தியில் ஓடும் மொத்தத் திருப்புதிசை மின்னோட்டத்தைக் கணக்கிட்டால், அவை இம் மூன்று கூறுகளில் கூட்டுத்தொகையாக அமையும்.

$$I_R = I_D + I_g + I_s.$$

I_D — என்பது பெரும் ஊடுருவல் மின்னோட்டம்.

I_g — என்பது மின்னூட்டத் தோற்றத்தாலான மின்னோட்டம்.

I_s — என்பது பரப்பு ஒழுகு மின்னோட்டம்.

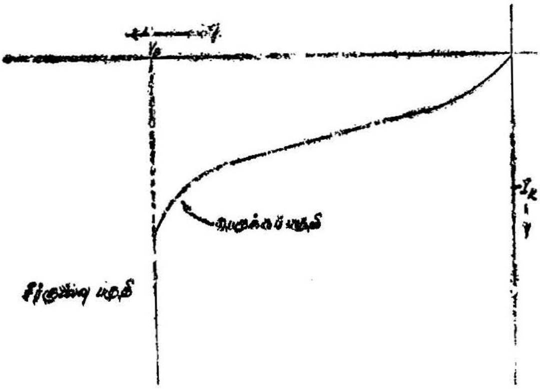
I_s-ன் விளைவை விட்டுவிட்டால், ஜெர்மேனியத்தையும், சிலிக்கானையும் நாம் ஒப்பிடலாம்.

அறை வெப்பநிலைகளில் I_D, I_g-ஐ விடப் பலமடங்கு அதிகமாயிருக்கும். எனவே, ஊடுருவல் மின்னோட்டம் பெரும் பங்காகிறது. $200°K$ போன்ற குறைவெப்பநிலைகளில்தாம் மின்னூட்டத் தோற்ற மின்னோட்டம் முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாக ஆகிறது. இதற்கு மாறாக, சிலிக்கானில் அறை வெப்ப நிலையிலும் அதற்கு மேலும் I_D, I_g யுடன் ஒப்பிடப்படும்போது மிகக் குறைவாக இருக்கும். எனவே, மின்னூட்டத் தோற்ற மின்னோட்டம் பெரும் பங்கு வகிக்கிறது. உண்மையில் $450°$ K-வரையில் ஊடுருவல் மின்னோட்டமானது அளக்கப்படும் அளவுக்கு உயர்வதில்லை. சமன்பாடு 8.12-லிருந்து சிலிக்கானுக்கு மின்னூட்டம் தோன்றும் விதம் அதிகமாக இருக்கக் காணலாம். ஏனெனில், வரம்பு வாழ்வு நேரங்களின் கூட்டுத்தொகை $(T_{pr} + T_{nr})$ 0.1-லிருந்து 1-மைக்ரோ வினாடி வரைதான் இருக்கும். ஆனால், ஜெர்மேனியத்தில் மட்டும் $(T_{pr} + T_{nr})$ 100 மைக்ரோ வினாடிகள்வரை இருக்காது. எனவே சிலிக்கானுக்கு, திருப்புதிசை மின்னோட்ட மாறுபாடு (வெப்பநிலையோடு) n_i- மட்டும் பொருத்திருக்கலாம்.

திருப்பிய மின்னழுத்தத்தின் சரிவுச் சீர்குலைவு (avalanche breakdown)

இதுவரை திருப்பிய மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புகளைப் பற்றிச் சொல்லும்போது கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தத்தின் உச்சவரம்பு பற்றி எதுவும் சொல்லப்படவில்லை. ஒரு P-N சந்தியிலுள்ள மின்னோட்டத்தையும் - மின்னழுத்தத்தையும் ஒரு வரைபடமாக வரைந்தால், மின்னோட்ட வளைகோடு ஒரு தெவிட்டிய நிலையை அடைந்து (மின்னழுத்தம் முடிவிலா அளவுவரை) நீண்டு செல்லும். இது கொள்கை வழியில் காணப்பட்ட சமன்பாட்டின் படியே ஆகும். ஆனால் நடைமுறையில் உண்மையான குறை கடத்தி P-N சந்திகளில் இவ்வாறு இருப்பதில்லை. திருப்புதிசை மின்னோட்டமானது மிக விரைவாக உயர் மதிப்புக்கு அதிகரித்து விடுகிறது. இது தெவிட்டிய நிலையை அடைவதுபோல் தோன்றினாலும் உண்மையில் அவ்வாறு அடைவதில்லை. படம் 8.6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளதுபோல் திருப்பிய மின்னோட்டமானது திடீரென்று மிக அதிக அளவு உயர்ந்து விடுகிறது. இந்த நிலையைத்தான் 'திருப்பு மின்னழுத்தச் சீர்குலைவு' (reverse voltage breakdown) என்கிறோம். இந்தச் சீர்குலைவு மின்னழுத்தம்-V_B-ஐக் கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கலாம். எந்த மின்னழுத்தத்தில் திருப்பு மின்னோட்டமானது திடீரென்று முடிவிலா அளவுக்கு உயர்ந்துவிடுகிறதோ அந்த மின்னழுத்தந்தான்

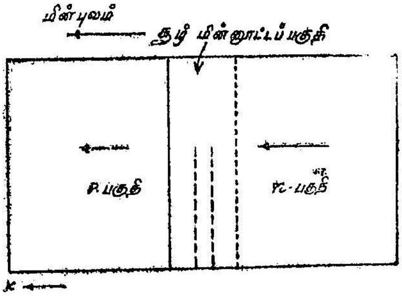
'சீர்குலைவு மின்னழுத்தம்' எனப்படுகிறது. V_B-ஐ அடைவதற்குமுன்னால் மின்னோட்டம் மெதுவாக அதிகரிக்கத் தொடங்குவதைப் படம் 8·6-ல் காணலாம். இந்த இடம் 'பெருக்கு பகுதி' (multiplication range) எனப்படும். எனவே, ஒரு *P-N*-சந்திக்குக் கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தத்திற்கு இந்தச் சீர்குலைவு மின்னழுத்தமானது ஒரு உச்சவரம்பைத் தீர்மானிக்கிறது. சீர்குலைவு மின்னழுத்தத்தை ஒட்டிய நிலையில் மின்னோட்டங்கள் மிக மிக அதிகமாக இருப்பதால் சந்தியின் மின்தடை மிக மிகக் குறைவாக இருக்கும். இது முன்னோக்கிய பயாசு பெற்ற சந்தியின் மின்தடைக்குச் சமமாக இருப்பதாகக் கொள்ளலாம்.



படம் 8.6
திருப்பிய மின்னழுத்தத்தில் சீர்குலைவு

இந்தச் சீர்குலைவு மின்னழுத்தத்திற்கு, கீழ்க்கண்டவாறு கொள்கை வழியில் விளக்கமளிக்கலாம். *P-N* சந்தியிலேற்படும் உயர்மின்னழுத்தங்களில் ஏற்படும் சீர்குலைவு, வாயுக்களில் தோன்றும் சரிவுச்சீர்குலைவை ஒத்ததாகும். ஒரு வாயுவில் ஓர் எலக்ட்ரான் வலிமையான மின்புலத்தில் வாயுவின் அணுவை மோதி அயனியாக்கும் அளவுக்கு ஆற்றலைப்பெறலாம் அயனியாக்கலினால் வெளிப்படும் எலக்ட்ரான் தானும் இதே போன்று மற்ற அணுக்களைத் தொடர்ந்து அயனியாகும். இச் செயல் அடுத்தடுத்துப் பெருகிக்கொண்டே சென்று வாயுவில் ஒரு சரிவுச் சீர்குலைவைத் தோற்றுவிக்கும். இதேபோன்று திருப்பு பயாசு பெற்ற சந்தியில் மின்னூட்டமுள்ள பகுதியில் சீர்குலைவு ஏற்படுகிறது எனக் கொள்ளலாம்,

மின்னூட்டமுள்ள பகுதியில் ஒரு வலிமையான மின்புலம் இருக்கிறது. ஏனெனில், இங்குதான் கொடுக்கப்படும் மொத்த மின்னழுத்தமும் வீழ்ச்சியடைவதாகக் கொள்கிறோம். மின்னழுத்தம் அதிகமாக அதிகமாக மின்புலம் வலிமையடைந்து கொண்டே போகிறது. இந்நிலையில் இந்த இடத்திலுள்ள திருப்பு மின்னோட்டத்திற்குக் காரணமான எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் மிகுந்த வலிமையைப் பெறுகின்றன. வலிமை பெற்றவுடன் இவை இணைதிறப் பிணைப்புகளில் மோதி அவற்றை உடைத்துவிடுகின்றன. இவற்றின் விளைவாக மேலும் துளைகளும் எலக்ட்ரான்களும் விடுவிக்கப்பட்டுத் திருப்பு மின்னோட்டம் பெறுவதற்குக் காரணமாகிறது. மின்னழுத்தம் மேலும் V_B-ன்



படம் 8.7
சரிவுச் சீர்குலைவைக் கணக்கிடுதல்

அளவுக்கு உயர்த்தப்படுமானால் மேலும் மேலும் இணைதிறப் பிணைப்புகள் உடைந்துகொண்டே போய் இறுதியில் சீர்குலைவில் முடிகிறது. இந்தச் சீர்குலைவானது நிரந்தரமானது அல்ல. மின்னழுத்தம் குறைக்கப்பட்டவுடன் P-N சந்தியானது பழைய நிலைக்குத் திரும்பிவிடும். ஓர் ஊர்தி இணைதிறப் பிணைப்புள்ள எலக்ட்ரானோடு மோதி அதனை விடுவிப்பதே அயனியாக்கலுக்குச் சமமாகும். ஏனெனில், இவ்வாறு விடுவிக்கப்படும் எலக்ட்ரான் ஒரு துளையை விட்டுச் செல்லுகிறது.

சீர்குலைவை, படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் ஒரு அமைப்பை எடுத்துக்கொண்டு பகுப்பாய்வு செய்து சீர்குலைவு மின்னழுத்தம் V_B-க்கு ஒரு கோவையைப் பெறலாம். இதில் n-பகுதியின் மின்தடை P-பகுதியைவிட மிகுதியாக இருப்பதாகக் கொள்வோம். இதனால், நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு பெரும்பாலும் n-பகுதிக்கு பரவியிருக்கும். மேலும் திருப்பிய மின்னோட்டத்தின்

பெரும் பகுதி சிறுபான்மை ஊர்திகளான துளைகளினாலேயே (P_o) நடைபெறுகிறது. இவை n-பகுதியிலிருந்து P-பகுதிக்கு ஊடுருவி வருபவை. மின்னூட்டமுள்ள பகுதியில் மின்னோட்டப் பெருக்கம் இருப்பதாகக் கொண்டால் x-என்ற ஏதாவதொரு புள்ளியிலிருந்து வெளியேறும் மொத்தத் துளைகளின் எண்ணிக்கை P-என்று கொள்ளலாம். dx-அளவான ஒரு சிறிய நீளத்தில் தோற்று விக்கப்படும் துளைகளின் எண்ணிக்கை,

$$dP_1 = P \alpha_i \, dx \qquad \dots 8.14$$

α_i — துளைகளின் அயனியாக்கும் வீதமாகும் தோற்றுவிக்கப்படும் மொத்தத் துளைகளைக்காணச் சமன்பாடு 8.14ஐ தொகைப்படுத்த

$$\int_{0}^{P\text{-}P_o} dP_1 = \int_{-x_m}^{0} P \alpha_i \, dx \qquad \dots 8.15$$

$x = -x_m$-ல் தோன்றும் துளைகளின் எண்ணிக்கை சுழியாகும்.

$x = 0$-ல் தோன்றும் துளைகளின் எண்ணிக்கை (P-P_o) ஆகும்.

$$1 - \frac{P_o}{P} = \int_{0}^{x_m} \alpha i \, dx \qquad \dots 8.16$$

$\frac{P}{P_o}$ — ஐ 'பெருக்க எண்' (Multiplication factor) M-என்று கொண்டால்,

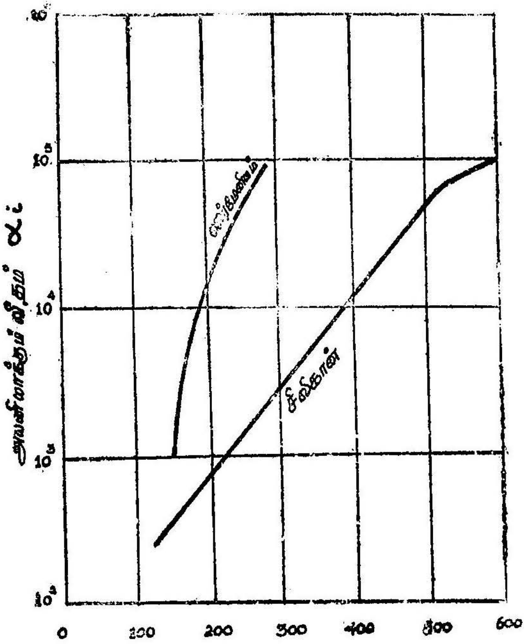
$$\left(M = \frac{P}{P_o} \right)$$

$$1 - \frac{1}{M} = \int_{0}^{x_m} \alpha i \, dx \qquad \dots 8\cdot 17$$

சமன்பாடு 8.17-லிருந்து M-ன் மதிப்பு αஐ அடையும்போது சீர்குலைவு நிகழ்கிறது. அயனியாக்கும் வீதம் எலக்ட்ரான்களுக்கும் துளைகளுக்கும் ஒன்றேதான் என்று கொண்டால், சமன்பாடு 8.17ஐயே பயன்படுத்தி எலக்ட்ரான் பெருக்கத்தையும் கணக்கிடலாம்.

அயனியாக்கப்படும் வீதம் α_i ஒருமாறிலி அல்ல. இது மின் புலன் E-ன் வலிமையைச் சார்ந்திருக்கும். மின்புல வலிமைக்கும் அயனியாக்கப்படும் வீதத்திற்குமுள்ள தொடர்பு படத்தில் (8•8) காட்டப்பட்டுள்ளது. இது எலக்ட்ரான், துளை ஆகிய இரண்டுக் குமே பொருந்தும்.

சீர்குலைவு மின்னழுத்தம் V_B ஐக் கணக்கிட மின்புலன் E, x_m-நீளத்தில் எவ்வாறு மாறுபடுகிறதென்பது தெரியவேண்டும்.



படம் 8.8

திருப்பிய பயாசில் அயனியாக்கப்படும் வீதம்

ஒரு P-N சந்தியில் மின்புலன் E நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கில் எவ்வாறிருக்கிறது என்பது முந்திய தலைப்பில் காண்பிக்கப்பட் டுள்ளது.

$$E = \frac{dV_n}{dx} = \frac{qN_D}{KE_0} \quad (x_n - x)$$

நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு பெரும்பாலும் n-பகுதிக்குள் விரிந்திருக்கிறது என்றுகொண்டால், $x_{-n} = x_{-m}$ எனக் கொள்ளலாம்.

$$\therefore E = \frac{dV_n}{dx} = \frac{q N_D}{K E_0} (x_m - x) \qquad \ldots 8\cdot 18$$

$x = 0$ ல் E பெருமமாயிருக்கும். அதாவது சந்தியில் பெரும மாயிருக்கும்.

$$E_m = \frac{q N_D}{K E_0} x_m \qquad \ldots 8\cdot 19$$

இதைச் சமன்பாடு 8.18-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$E = E_m \left(1 - \frac{x}{x_m}\right) \qquad \ldots 8\cdot 20$$

இதிலிருந்து மின்புலம் E, $x = 0$ ல் பெருமமாயிருக்கிறது. x - அதிகரிக்க E-ன் மதிப்பு குறைந்துகொண்டேபோய் $x = x_m$ ல் சுழியாகிறது.

$$d E = \frac{E_m}{x_m} dx$$

$$dx = \frac{K E_0}{q N_D} dE \qquad \ldots 8\cdot 21$$

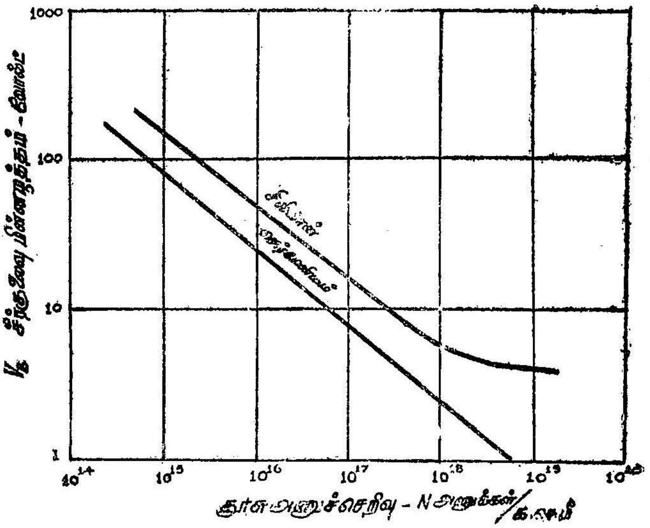
சமன்பாடு 8·17-ல் இவற்றைப் பதிலீடு செய்து, வரம்பையும் மாற்ற,

$$1 - \frac{1}{M} \frac{K E_0}{q N_D} \int_0^{E_m} \alpha i (E) \, dE \qquad \ldots 8\cdot 22$$

$M = \alpha$ ஆக இருக்கும்போது சமன்பாடு 8·22-ன் வலதுபுறம் ஒன்றாக ஆகிவிடும். இந்த நிலையில் தான் மின்புலம் பெருமமாக (E_m) இருக்கிறது. இங்குதான் சரிவுச் சீர்குலைவு நிகழும். எனவே, சமன்பாடு 8·19-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ள E_m-ன் மதிப்பைப் பயன் படுத்திச் சீர்குலைவு மின்னழுத்தம் V_B-ஐக் கணக்கிடலாம்.

$$V_B = \frac{K E_o}{2\, q\, N_D} \; E_{mB}^{\;2} \qquad \dots 8{\cdot}23$$

E_{mB} என்பது சீர்குலைவில் மின்புலத்தின் அளவைக் குறிக்கிறது. V_B-யானது தூசுச்செறிவுக்கு எதிர்விகிதத்திலிருப்பதால், மின் தடை உயர உயர V_B-யும் உயரும். டிரான்சிஸ்டர்கள் தயாரிக்கப் படும்போது மின்தடைக்கும், சீர்குலைவு மின்னழுத்தத்திற்குமுள்ள தொடர்பு மிக முக்கியமானதாகக் கருதப்படுகிறது. தூசுச் செறி



படம் 8.9
தூசுச் செறிவுக்கும் சீர்குலைவுக்கும் உள்ள தொடர்பு

வுக்கும், சீர்குலைவு மின்னழுத்தத்திற்குமுள்ள தொடர்பு படம் 8.9-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. படத்தில் ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகிய இரண்டுக்குமே இந்தத் தொடர்பு காண்பிக்கப் பட்டுள்ளது. இந்தத் தொடர்பு n-வகை அல்லது p-வகை ஆகிய இரண்டுக்குமே பொருந்துவதாகும்.

எலக்ட்ரான், துளைகள் ஆகிய இரண்டுக்குமே அயனியாக்கப் படும்வீதம் சமமாக இருப்பதாகக் கொண்டிருக்கின்றோம். சீர் குலைவுக்கு அருகில் இது உண்மையாக இருக்கலாம். ஒரு திருப்பு பயாசு பெற்ற P-N சந்தியில் மிகுந்த மின்தடைபெற்றது p-வகையா அல்லது n-வகையா என்பதைப் பொறுத்துப்

பெருக்குப்பகுதி மாறுபடுகிறது. இதனால், அயனியாக்கப்படும் வீதங்கள் சமமாக இல்லையென்று தெரிகிறது. பரிசோதனைகளிலிருந்து சீர்குலைவு மின்னழுத்தத்தை ஒட்டியுள்ள மின்னழுத்தங்களில் பெருக்க எண்ணுக்கான ஒரு வாய்பாட்டைப் பெறலாம்.

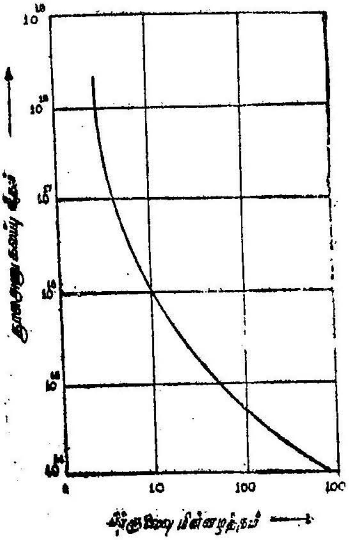
$$M = \frac{1}{1 - (v / v_B)^n} \qquad \ldots 8 \cdot 24$$

n-ன் மதிப்பு ஜெர்மேனியத்தில் p-வகைக்கு 6, n-வகைக்கு 3. சிலிக்கானில் p-வகைக்கு-2, n-வகைக்கு-4.

$V = V_B$ ஆக இருக்கும்போது $M = \alpha$-ஆக மாறுவதைச் சமன்பாடு 24-லிருந்து காண்கிறோம். பெருக்கப்பகுதியில் மின்னோட்டத்தின் உயர்வு டிரான்சிஸ்டர்களில் மின்னோட்டப் பெருக்கத்தின் சிறப்பியல்புகளைப் புரிந்துகொள்ள உதவும்.

ஜீனர் சீர்குலைவு (Zener breakdown)

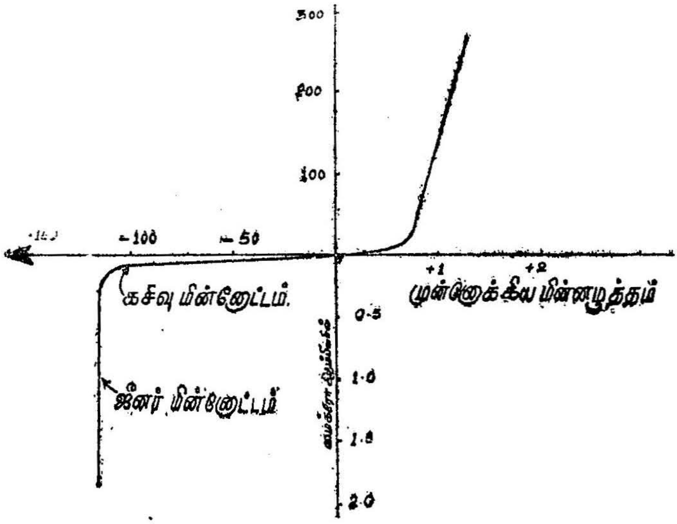
ஒரு P-N சந்தியின் n-பகுதி, p-பகுதி ஆகிய இரண்டுமே வீருர்ந்த கலப்புடையதாக இருந்து, இருபக்கங்களிலும் தூசு அணுக்களின் செறிவு மிக்கதாக இருந்தால், நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் தடிமன் மிகமிகக் குறுகியதாக ஆகிவிடும். இங்கு ஊர்திகளின் பெருக்கம் மிக அதிகமாக இருக்காது. இவற்றிலுள்ள ஊர்திகள் இணைதிறப் பிணைப்பை உடைத்து எலக்ட்ரான், துளை ஆகியவற்றைத் தோற்றுவிக்கும் வாய்ப்பு குறைவு. அதோடு மின்புலம் மிகக் குறுகியதாக இருப்பதால் ஊர்திகள் ஓடும் தொலைவும் குறைவாக இருக்கும். இதனால் ஊர்திகள் வேண்டிய அளவு முடுக்கத்தைப்பெற்று வேகத்தை அதிகப்படுத்திக்கொள்ள வாய்ப்பில்லை. எனவே, இவை இணைதிறப் பிணைப்பை உடைத்து



படம் 8·10
சீர்குலைவு மின்னழுத்தத்திற்கும் தூசு அணுக்கலப்புக்குமிடையேயுள்ள தொடர்பு

எலக்ட்ரான்களை வெளியேற்றுவது குறைவு. இந்நிலையில் சீர்குலைவானது ஒரு புதிய விளைவால் தோன்றுகிறது.

இணைதிறப் பட்டையிலுள்ள சில எலக்ட்ரான்கள் அணுவை விட்டு வெளியேறுமளவுக்கு ஆற்றலில்லாதவை. இவை அணுவோடு பிணைக்கப்பட்டுள்ளவை. இந்த எலக்ட்ரான்கள் வலிமை மிக்க மின்புலத்தின் உதவியால் வெளியேற முற்படும். உண்மையிலேயே சில எலக்ட்ரான்கள் இந்த மின்புலத்தின் உதவிகொண்டு வெளியேறிவிடுகின்றன. இவ்வாறு எலக்ட்ரான்கள் வெளியேற



படம் 8·11
ஜீனர் டையோடின் சிறப்பியல்பு வளைகோட்டு

முற்பட்டவுடன் இந்தச்செயல் தொடர்ந்து நடைபெற்று மின்னோட்டமானது பலமடங்கு மிகுதியாகிறது. இந்நிலையில் மின்புலத்தின் வலிமை ஒரு செ.மீ.க்கு ஒரு மெகாவோல்ட்வரை இருக்கும். இத்தகைய சீர்குலைவைத்தான் 'ஜீனர் சீர்குலைவு' என்கிறோம்.

ஜீனர் டையோடுகள் என்ற ஒருவகை சந்தி டையோடுகள் சிலிக்கானில் தயாரிக்கப்படுகின்றன. இவை ஏறத்தாழச் சீர்குலைவு மின்னழுத்தத்தில் செயற்படும். இந்த ஜீனர் டையோடுகள் கட்டுப்படுத்தும் கருவிகளாக (Controlling devices) அல்லது மற்ற கருவிகளை முடுக்கி இயங்கவைக்கும் கருவிகளாகப் (switching

devices) பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இந்த ஜீனர் டையோடைப் பற்றி மற்றொரு பகுதியில் மிக விளக்கமாக விவரிக்கப்பட்டுள்ளது.

சரிவாக அமைந்துள்ள சந்தியில் சீர்குலைவு

இதற்கு முன்னுள்ள பகுதியில், படிச்சந்தியில் சீர்குலைவு எவ்வாறு ஏற்படுகிறது என்பதற்கான விளக்கம் கூறப்பட்டது. மின்னழுத்தச் சீர்குலைவானது ஊர்தி அயனியாக்கத்தால்தான் ஏற்படுகிறது என்பது தெளிவு.

இதைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு விளக்குகிறது.

$$1 - \frac{1}{M} = \int_0^W \alpha_i (E)\, dx \qquad \dots 8\cdot 25$$

$\alpha_i (E)$-என்பது அயனியாக்கப்படும் வீதம். இது மின்புலத்தைச் சார்ந்திருக்கிறது. M-என்பது பெருக்க எண். $M = \alpha$ ஆக இருக்கும்போது அல்லது தொகைப்படுத்தப்பட்ட மதிப்பு ஒன்றாக ஆகும்போது சீர்குலைவு நிகழ்கிறது.

ஊடுருவல் முறையால் தயாரிக்கப்படும் சரிவாக அமைந்த P-Nசந்திக்கு இந்த விளக்கம் ஒத்துவராது. சரிவாக அமைந்த சந்தியின் குணங்கள் பிழைச்சார்பு, காசியன் பங்கீடு ஆகியவற்றைப் பயன்படுத்தி விளக்கப்பட்டது. இதன் அடிப்படையில் இத்தகைய சந்திகள் E_{mB} மின்னழுத்தத்தை அடையுமுன் உயர் மின்னழுத்தத்தைத் தாங்கிக்கொள்ள முடியும் என்று காண்பிக்கப் பட்டுள்ளது. வேறுவகையில் சொன்னால், ஒரு கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தத்தில் சரிவாக அமைந்த சந்தியின் நெருக்கம்குறைந்த அடுக்குத்தடிமன், படிச்சந்தியின் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்குத் தடிமனைவிடப் பெரியதாக இருக்கும். இவ்வாறு சந்தியில் தோன்றும் சீர்குலைவைக்கொண்டு பிழைச்சார்பு அல்லது காசியன் பங்கீட்டுக்கு, பாய்சான் சமன்பாட்டைப் பயன் படுத்திச் சீர்குலைவு மின்னழுத்தத்தைக் கணக்கிடலாம். ஆனால், இது எளிதன்று. இதற்காக ஒரு தோராயத்தைக்கொண்டு கணக்கிட்டால்,

$$E = E_m \left[1 - \frac{2x}{x_m} \right]^2 \text{ எனக் காட்டலாம்.} \qquad \dots 8\cdot 26$$

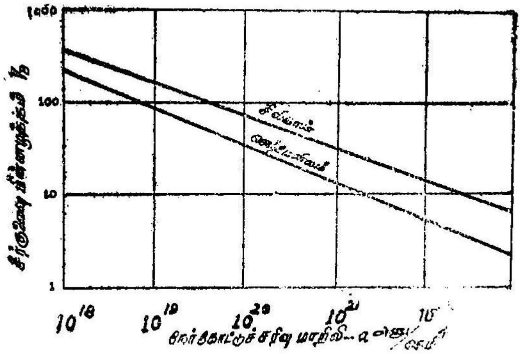
$$E_m = \frac{q\, a\, x_m^2}{8\, K\, E_0} \text{ ஆகும்.} \qquad \ldots 8 \cdot 27$$

இதற்கு $x = 0$, $x = x_m/2$ என்ற வரம்புகளைப் பயன்படுத்த,

$$1 - \frac{1}{M} = \int_0^{E_m} \frac{x_m\, \alpha_i}{2\, E_m^{\frac{1}{2}}\, (E_m - E)^{\frac{1}{2}}}\, dE \qquad \ldots 8 \cdot 28$$

$$1 - \frac{1}{M} = \frac{1}{2} \left(\frac{8\, K\, E_0}{qa} \right)^{\frac{1}{2}} \int_0^{E_m} \frac{\alpha_i}{(E_m - E)^{\frac{1}{2}}}\, dE \qquad \ldots 8 \cdot 29$$

a-என்பது சந்திச் சரிவு மாறிலி.



படம் 8.12

சரிவுச் சந்தியில் சீர்குலைவு மின்னழுத்தத்திற்கும் சரிவு மாறிலிக்கும் உள்ள தொடர்பு

வலதுபுறம் ஒன்றாக ஆகும்போதுதான் சீர்குலைவு நிகழ்கிறது.

$\alpha_i = 6.25 \times 10^{-34}\, E^7$ ஜெர்மேனியத்திற்கு...

$\alpha_i = 1.65 \times 10^{-24}\, E^5$ சிலிக்கானுக்கு...

இங்கு எலக்ட்ரானுக்கும், துளைக்கும் அயனியாக்கப்படும் வீதம் சமம் என்று கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது.

நேர்பாங்குச் சரிவுக்கும், சீர்குலைவு மின்னழுத்தத்திற்குமுள்ள தொடர்பு படம் 8.12-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

$$E_{mB} = \left[\frac{I q a}{32 \; K E_0}\right]^{\frac{1}{3}} V_B^{\frac{2}{3}} \qquad \ldots 8{\cdot}30$$

என்றும் காட்டலாம்,

முன்னோக்கிய மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புகள்

இதுவரை ஒரு P-N சந்தியின் திருப்பிய மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புகள் விளக்கப்பட்டன. இப்போது முன்னோக்கிய மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புகளைக் காண்போம். சமன்பாடு 8.1-ன் படி கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தம் V-நேர்க்குறி கொண்டதாக இருந்து 0·1 வோல்ட்டைவிட மிகுதியாகவும் இருந்தால் $e^{qV/KT}$ ஒன்றுடன் ஒப்பிடப்படும்போது மிகுதியாக இருக்கும் என்று தெரிகிறது. இதனால் முன்னோக்கிய மின்னோட்டம்,

$$I_F = \frac{q A D_p P_n}{W} \; e^{qV/KT} \qquad \ldots 8{\cdot}31$$

$$I_F = I_R \; e^{qV/KT} \qquad \ldots 8{\cdot}32$$

இதிலிருந்து V-ன் மதிப்பு சிறு அளவு அதிகரித்தாலும் $e^{qV/KT}$ -ன் மதிப்பு பெருமளவு அதிகரித்துவிடும் எனத் தெரிகிறது. ஏனெனில், அறை வெப்பநிலையில் (300°K) $\frac{KT}{q} = 0.026$ வோல்ட் ஆகும். எனவே, சிறு மின்னழுத்தத்திற்குக்கூட முன்னோக்கிய திசையில் மிகுந்த மின்னோட்டம் ஏற்படும். முன்னோக்கிய திசையில் சந்தியின் மின்தடை மிகக் குறைவாயிருக்கிறது. எடுத்துக்காட்டாக I_R-ன் மதிப்பு 1-மைக்ரோ ஆம்பியர் எனக் கொள்வோம். $V = 0.3$ வோல்ட் ஆனால் முன்னோக்கிய மின்னோட்டம் 100 மில்லி ஆம்பியராக இருக்கும். மின்தடையைக் கணக்கிட, 3 ஓம்கள் ஆகும். எனவே, மின்னழுத்தம் மிகமிக, முன்னோக்கிய மின்தடை விரைவாகக் குறைவது தெரிகிறது.

முன்னோக்கிய மின்னழுத்த — மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புகளில் ஜெர்மேனியத்தையும் சிலிக்கானையும் ஒப்பிட்டால் அது ஒரு நல்ல எடுத்துக்காட்டாக அமையும்.

$$I_F = \frac{q A D_p P_n}{W} \; e^{qV/KT}$$ என்ற சமன்பாட்டில்,

$$P_n = \frac{n_i^2}{N_D}$$ — ஐப் பதிலீடு செய்தால்,

$$I_F = \frac{q\,A\,D_p\,n_i^2}{W\,N_D}\,e^{qV/KT} \qquad \dots 8\cdot33$$

n_i^2-ஆனது $e^{-E_g/KT}$-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும் எனக் காட்டியுள்ளோம். E_g-என்பது ஆற்றல் பட்டை இடைவெளி. D_p-என்பது ஜெர்மேனியத்திற்கும் சிலிக்கானுக்கும் ஒரே அளவாக இருக்குமென்று கொண்டால்,

$$I_F = K_g^{-E_g/KT}\,.e^{qV/KT} \qquad \dots 8.34$$

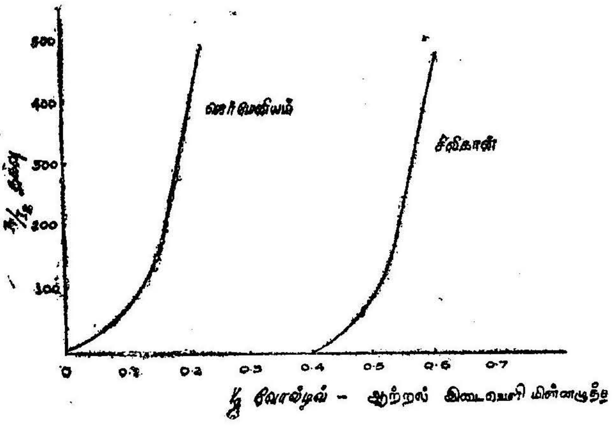
E_g-என்பது ஆற்றல் பட்டை இடைவெளி; எலக்ட்ரான் வோல்ட்டில் சொல்லப்படுவது. $E_g = q\,V_g$—என்று எழுதலாம். V_g-என்பது (ஆற்றல்) பட்டை இடைவெளி மின்னழுத்தம் வோல்ட்களில். எனவே, முன்னோக்கிய மின்னழுத்தத்திற்கான கோவையைத் திருத்தி எழுத,

$$I_F = K\,e^{q\,(V - V_g)\,/\,KT} \qquad \dots 8\cdot35$$

அறை வெப்பநிலை (300°K) V_g-ஜெர்மேனியத்திற்கு 0.72 வோல்ட், சிலிக்கானுக்கு 1.1 வோல்ட் ஆகும். இந்த ஆற்றல் பட்டை இடைவெளியிலுள்ள வேறுபாடு, ஜெர்மேனியத்திற்கும் சிலிக்கானுக்கும் முன்னோக்கிய மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பில் மிகுந்த வேறுபாடு உண்டு என்பதைக் காட்டுகிறது.

மற்றவையெல்லாம் சமமாக இருக்கும்போது ஒரே அளவான முன்னோக்கிய மின்னோட்டத்திற்கு — சிலிக்கான் P-N சந்தியின் குறுக்கேயுள்ள மின்னழுத்தம் ஜெர்மேனியம் P-N சந்தியின் குறுக்கேயுள்ள மின்னழுத்தத்தைவிட 0.38 வோல்ட் அதிகமிருக்கும். D_p-ன் மதிப்பு சிலிக்கானுக்கு, ஜெர்மேனியத்திற்கு இருப்பதைவிட சற்றுக் குறைவாக இருப்பதையும் கணக்கில் எடுத்துக்கொண்டால், இந்த மின்னழுத்த வேறுபாடு 0.4 வோல்ட் வரை இருக்கும். படம் 8·13 ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் ஆகியவற்றின் முன்னோக்கிய மின்னோட்டம்—ஆற்றல் இடைவெளி மின்னழுத்தத்தைப் பொறுத்திருப்பதைக் காட்டுகிறது. இந்த விளைவை வேறுவகையாலும் கூறலாம். n-வகைப் பகுதியில் ஒரே தூசுச்செறிவுக்குச் சிறுபான்மைத் துளைச்செறிவு

சிலிக்கானில், ஜெர்மேனியத்திலிருப்பதைவிடக் குறைவாக இருக்கிறது. இந்த சிலிக்கானின் குறிப்பிட்ட சிறப்பியல்பு சில குறிப்பிட்ட இடங்களில் பயனுடையதாய் இருக்கிறது. எடுத்துக்காட்டாக கம்ப்யூட்டர்களை இயக்கும் எலக்ட்ரானியல் சுற்றுகளில் பல டிரான்சிஸ்டரை இயக்கும் 'ஸ்விட்ச்' ஆக இந்தச் சிலிக்கான் டிரான்சிஸ்டர் செயற்படும். திருப்பிய மின்னோட்டமானது வெப்ப நிலையைச் சார்ந்தது. அது வெப்பநிலையின் இருமடிக்கு நேர்



படம் 8.13
ஆற்றல் இடைவெளி மின்னழுத்தத்திற்கும் மின்னோட்டத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு

விகிதத்திலிருப்பதாகக் கண்டோம். $T^2 e^{-E_g/KT}$-ன் மதிப்பைப் பொறுத்து, தெவிட்டிய I_R மாறுகிறது எனக் காண்பிக்கப்பட்டது. இங்கு I_R-என்பது பெரும்பாலும் ஜெர்மேனியத்தில் ஊர்தி மின்னோட்டமே. முன்னோக்கிய பயாசிலிருக்கும்போது மின்னூட்டத் தோற்றம் இருக்காது. ஆகையால், முன்னோக்கிய மின்னோட்டத்தைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\text{ஜெர்மேனியத்திற்கு } I_F \propto T^2 e^{q(V-V_g)/KT} \quad \ldots 8{\cdot}36$$

$$\text{சிலிக்கானுக்கு } I_F \propto T^{1\cdot4} e^{q(V-V_g)/KT} \quad \ldots 8{\cdot}37$$

$Eg = qV_g$ எனக் கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது. முன்னோக்கிய மின்னழுத்தத்தின் எந்த ஒரு மதிப்புக்கும்(பட்டை இடைவெளி மின்னழுத்தம் V_gஐவிடக் குறைவான) வெப்பநிலை உயரும்போது

முன்னோக்கிய மின்னோட்டமும் உயருகிறது. அதாவது முன்னோக்கிய பயாசிலிருக்கும் P-N சந்தியில் வெப்பநிலை உயரும் போது d-c மின்தடை குறைகிறது.

உயர் முன்னோக்கிய மின்னோட்டம்

P-N சந்தியின் கோட்பாடுகளைப் பார்க்கும்போது n-பகுதியில் உள்ள பெரும்பான்மை ஊர்திகளான எலக்ட்ரான்களின் செறிவோடு ஒப்பிட்டால் அப்பகுதியில் உட்புகுத்தப்படும் சிறுபான்மை ஊர்திகளான துளைகளின் செறிவு மிகக் குறைந்தது ஆகும் என்ற தற்கோளின் அடிப்படையில்தான் கொள்கைகள் வகுக்கப் பட்டன எனத்தெரியும். n-பகுதியில் இந்த நிலைக்குச் சற்றே மாறு பட்ட ஒருநிலை உருவாவதைக் காணலாம். ஏனெனில், துளைகள் தொடுப்பை நோக்கி ஊடுருவல் முறையில்தான் நகர்கின்றன. இதனால் கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தமானது சந்தியில்தான் வீழ்ச்சியடைகிறது. சந்தியை அடுத்துள்ள n-பகுதியிலோ, p-பகுதியிலோ மின்னழுத்த வீழ்ச்சி இருப்பதில்லை. எனவே, n-பகுதியில் உட்புகுத்தப்பட்ட துளைகள் நகர்வுமுறையில் முன்னேற முடியாது. ஏனெனில், இப்பகுதிகளில் மின்புலம் சுழியாக இருக்கிறது. எனவே, முன்னோக்கிய பயாசு நிலையில் P-N சந்திக்கான சமன்பாடு, குறைந்த முன்னோக்கிய மின்னோட்டம் இருக்கும்போது தான் பொருத்தமாக இருக்கும். அதாவது உட்புகுத்தப்பட்ட துளைச்செறிவு $P_n \; e \; qV_0 / KT$-ஆனது எலக்ட்ரான் செறிவு $n = N_D$-யுடன் ஒப்பிடப்படும்போது மிகச்சிறியதாய் இருக்க வேண்டும். மிகுந்த முன்னோக்கிய மின்னோட்டங்களில் இருக்கும் போது இந்த நிபந்தனை ஒத்துவராது. முன்னோக்கிய திசையில் மின்னோட்டம் மிகுதியாக இருக்கும்போது n-பகுதியிலும் மின்னழுத்த வீழ்ச்சி இருக்கிறது. இந்த வீழ்ச்சி சந்தியிலுள்ள மின்னழுத்த வீழ்ச்சியுடன் ஒப்பிடக்கூடியதாக இருக்கும். எனவே, சந்தியிலுள்ள மின்னழுத்த வீழ்ச்சியானது கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தத்தைவிடக் குறைவாக இருக்கும். இந்த நிலை ஒரு மின்தடைபோல் செயற்படத் தொடங்கும். உயர் மின்னோட்டங்களில் இந்த மின்தடையானது சந்தியோடு தொடர்சுற்றில் இருப்பதுபோல் இருக்கும்.

உட்புகுத்தப்பட்ட துளைகளின் செறிவு மிகுதியாக இருக்கும் போது இந்த நிலை எவ்வாறு மாறுகிறது என்று பார்ப்போம். $P_n \gg P$ ஆக இருக்கும்போது p-பகுதியில் உட்புகுத்தப்பட்ட எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மிகமிகக் குறைவாக இருக்கிறது என்று கொள்ளுகிறோம். அத்தோடு துளைகளின் வாழ்வுநேரம்

மிகுதியாக இருப்பதாகக் கொண்டால், ஊடுருவல் நீளம் L_p, n-பகுதி தடிமன் W-வைவிட மிகுதியாக இருக்கும். $x = W$-ல் (தடை தொடுப்பில்) ஊர்திகளின் செறிவு அவற்றின் சமநிலைமை மதிப்பாய் இருக்கும். ஏனெனில், இங்கு ஒன்றிடும் வீதம் மிகமிக அதிகமாயிருப்பதே இதற்குக் காரணம். எனவே, துளைச்செறிவு P_n க்குச் சமமாகவும், பெரும்பான்மை எலக்ட்ரான் செறிவு கொடை அணுச்செறிவு N_D^0 க்குச் சமமாகி விடுகிறது. $x = 0$ வில் உட்புகுத்தப்பட்ட துளைகளின் செறிவு P ஆக இருந்தால் இது தொலைவைச் சார்ந்ததாக இருக்கும். n-பகுதியில் ஒன்றிடும் செயல் நடைபெறவில்லை என்று கொண்டால், துளைகளின் ஊடுருவல் P-க்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கும். துளை ஊடுருவல் மின்னோட்டத்தின்கூடவே எலக்ட்ரான் செறிவு வாட்டமானது எலக்ட்ரான், ஊடுருவல் மின்னோட்டத்தையும் அமைக்கமுயலும். இருந்தாலும், எலக்ட்ரான்கள் நகரத்தொடங்கியவுடனேயே மின்னூட்டச் சரிசமன் அழிந்து விடுகிறது. உடனே ஒரு மின்புலம் தோன்றிவிடுகிறது, இந்த மின்புலம் எலக்ட்ரான்கள் நகராது அதே இடத்திலிருக்குமாறு செய்துவிடும். இந்தச் செயல் எலக்ட்ரான் செறிவு வாட்டத்தை எதிர்த்திழுக்கும். எனவே, மொத்த எலக்ட்ரான் மின்னோட்டமானது சுழியாக இருக்கும். ஏனெனில், இந்த மின்புலம் ஓர் எலக்ட்ரான் நகர்வு மின்னோட்டத்தை எலக்ட்ரான் ஊடுருவல் மின்னோட்டத்திற்கு எதிர்த்திசையில் அதே அளவு தோற்றுவிக்கும் வகையில் செயற்படும். இந்த மின்புலம் தோன்றும் திசை துளைகள் தடைத்தொடுப்பை நோக்கி நகரும் திசையிலேயே இருக்கும். துளைகளைப்போலவே, வாட்டச்சரிவு திசையில் இந்த மின்புலம் அமைவதால் இதன் விளைவு துளை ஊடுருவல் மின்னோட்டத்தை இரட்டிப்பாக ஆக்குவதற்குச் சமம். n-பகுதியில் ஒரு மின்புலம் அமைந்திருப்பதற்கு அங்கு ஒரு மின்னழுத்த வீழ்ச்சியும் இருக்கவேண்டும்.

தொடர்ச்சிச் சமன்பாடுகளிலிருந்து,

$$J_p = q \mu_p P E - q D_p \frac{dp}{dx} \qquad \dots 8\cdot38$$

$$J_n = q \mu_n n E + q D_n \frac{dn}{dx} \qquad \dots 8\cdot39$$

இந்தச் சமன்பாடுகள் ஒரு திசையில் நகர்வு மின்னோட்டம், ஊடுருவல் மின்னோட்டம் ஆகியவற்றின் மொத்தத்தை ஒருங்கே தருகிறது. முதல் சமன்பாடு துளைக்கும் இரண்டாவது சமன்பாடு எலக்ட்ரானுக்கும் பொருந்தும்,

$$\frac{dn}{dx} = \frac{dp}{dx} \qquad \ldots 8{\cdot}40$$

என எடுத்துக் கொண்டால், முன்பு கூறியபடி J_n சுழியாகிவிடும். இதைச் சமன்பாடு 8·39-ல் பதிலீடு செய்தால், E-ன் மதிப்பைத் தொகைப்படுத்திக் காணலாம்.

$$E = -\frac{D_n}{\mu_n}\frac{1}{n}\frac{dp}{dx} \qquad \ldots 8{\cdot}41$$

ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாட்டின்படி,

$$D = \frac{KT}{q}\mu$$

$$E = -\frac{KT}{q}\frac{1}{n}\frac{dp}{dx} \qquad \ldots 8{\cdot}42$$

இதைச் சமன்பாடு 8.38ல் பொருத்த,

$$J_p = q\,\mu_p.P\,\frac{-KT}{q}\,\frac{1}{n}\,\frac{dp}{dx} - q\,D_p\frac{dp}{dx} \qquad \ldots 8.43$$

$$J_p = -q\,D_p\frac{dp}{dx}\left(1 + \frac{P}{n}\right) \qquad \ldots 8.44$$

மிகுந்த முன்னோக்கிய மின்னோட்டங்களில் $p = n$

$$\therefore J_p = -2\,q\,D_p\frac{dp}{dx} \qquad \ldots 8.45$$

இதுதான் முன்னோக்கிய துளை மின்னோட்டச் செறிவு. இது குறைந்தநிலையில் உள்ளதைப்போல் இருமடங்கு இருக்கக் காணலாம். வேறுவகையில் சொன்னால் P-N சந்திக்குள் மிகுந்த அளவு துளைகள் உட்புகுத்தப்பட்டால், ஊடுருவல் மாறிலி அதன் வரம்பை இரட்டிப்பாக்குகிறது. உண்மையான மின்னோட்டம் I_pஐக் காணச் சமன்பாடு 8.45 ல் $\frac{dp}{dx}$ -க்குப் பதிலீடு செய்ய வேண்டும். $\frac{dp}{dx}$ க்கான கோவையை நாம் ஏற்கெனவே 7ஆம் பகுதி

பகுதியில் விளக்கியிருக்கிறோம். சமன்பாடு 7·74-ன்படி,

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{P_n}{W}\left(e^{qV_j/KT} - 1\right) \quad \ldots 8.46$$

இதைச் சமன்பாடு 8·45ல் பொருத்திச் சந்திப்பரப்பு Aஆல் பெருக்க,

$$I_p = \frac{q.\ A.\ 2\ D_p P_n}{W}\left(e^{qV_j/KT} - 1\right) \quad \ldots 8.47$$

V_j-சந்தியில் இருக்கும் மின்னழுத்த வீழ்ச்சியைக் குறிக்கிறது.

$$V_o = V_j\ V_s$$

V_o-கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தம்; V_j-சந்தியில் மின்னழுத்த வீழ்ச்சி; V_s-கூடுதல் மின்தடையால் n-பகுதியில் மின்னழுத்த வீழ்ச்சி. V_s ஐக் காண,

$$E = -\frac{KT}{q} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{dx}$$

$$V_s = \int_0^n E\,dx = -\frac{KT}{q}\int_n^{n_n} \frac{d_n}{n_n}$$

$$V_s = \frac{KT}{q} \cdot \log\frac{n}{n_n}\ .$$

$$n = P \text{ ஆகையால், } n_n = \frac{n_i^2}{P_n}$$

$$\therefore V_s = \frac{KT}{q} \cdot \log\frac{PP_n}{n_i^2} \quad \ldots 8.48$$

மேலும் $P = P_n\,e^{qV_j/KT}$

$$V_s = \frac{KT}{q}\left[\log\left(\frac{P_n}{n_i}\right)^2 + \frac{qV_j}{KT}\right]$$

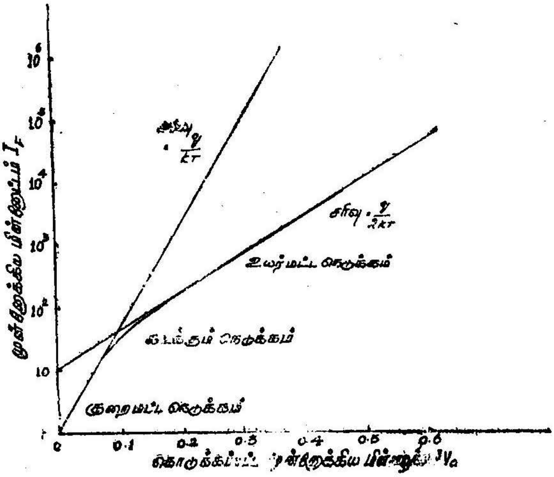
$$= \frac{KT}{q} \log \left(\frac{P_n}{n_i} \right)^2 + V_j$$

$$\therefore V_s = V_o - V$$

$$V_j = \frac{V_o}{2} - \frac{KT}{q} \log \frac{p_n}{n_i}$$

இதுதான் சந்தியில் மின்னழுத்த வீழ்ச்சியாகும்.

$$I_p = \frac{qA\,2D_p\,P_n}{W} \times e^{qV_o/2KT - \log \frac{p_n}{p_i}} - 1$$



படம் 8·14

முன்னோக்கிய மின்னழுத்தத்திற்கும் முன்னோக்கிய மின்னோட்டத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு

ஏறத்தாழ,

$$I_F = \frac{2qAD_p\,n_i}{W} e^{qV_o/2KT}$$

இறுதியாகக் கொடுக்கப்பட்டுள்ள சமன்பாடு P-N சந்தியில் மின்னோட்டம் மிகுதியாக இருக்கும்போது மின்னழுத்தத்திற்கும் மின்னோட்டத்திற்குமுள்ள சிறப்பியல்பைக் காண்பிக்கிறது. மின்னோட்டம் குறைவாக இருக்கும்போதுள்ள சிறப்பியல்புக்கும் இதற்கும் பல வேறுபாடுகள் இருக்கின்றன. முதலாவதாக மின்னோட்டமானது இரட்டிப்பு ஊடுருவல் மாறிலிக்கு நேர்

விகிதத்திலிருக்கிறது. இரண்டாவதாக உயர் மின்னோட்டமானது மின்தடையைப் பொறுத்து அமைவதில்லை. இது n_iஐச் சார்ந்திருக்கிறது. படம் 8·14ல் குறை மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பு வரைகோடு, உயர் மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பு வரைகோடு ஆகிய இரண்டுமே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. குறை மின்னோட்டத்தில் சிறப்பியல்பு கோட்டின் சாய்வு q/KT யாகவும், உயர் மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பு கோட்டின் சாய்வு $q/2KT$ யாகவும் இருக்கும். மின்னோட்டம் உயர உயரச் சிறப்பியல் கோட்டின் சாய்வும் குறைந்துகொண்டே வருகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னோட்டத்தில்தான் இந்தச் சாய்வு மாறத்தொடங்கும். இந்தச் சாய்வு மாற்றம், தோன்றும் மின்னோட்டத்தைக் கடக்கும் புள்ளியாகக் கொள்ளலாம். இந்த இடத்தில்தான் உட்புகுத்தப் பட்ட துளைச்செறிவு, பெரும்பான்மை ஊர்திச்செறிவு n_n-க்கு ஏறத்தாழச் சமமாயிருப்பதைக் காணலாம். இந்தக் கடக்கும் புள்ளி n-பகுதியின் மின்தடையைப் பொறுத்து அமைகிறது. n_n-உயர உயர மின்தடை குறைகிறது. இதனால், உயர் மின்னழுத் தங்களில்தான் இந்த மாறுபாடு நிகழும்.

வினாக்கள்

1. ஒரு P-N சந்தியில் திருப்பிய திசையில் மின்னோட்டம் எவ்வாறு தோன்றுகிறது என்பதை விளக்கு. திருப்பு மின்னோட்டம் வெப்பநிலையோடு எவ்வாறு மாறுபடக்கூடும் என்பதையும் எடுத்துக்காட்டு.
2. ஒரு P-N சந்தியில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் மின்னோட்டம் எவ்வாறு தோன்றுகிறது என்பதைப் படத் துடன் விளக்கு.
3. சரிவுச் சீர்குலைவு என்றால் என்ன? அது எப்போது தோன்றும்? விளக்கி எழுது.
4. சரிவுச் சீர்குலைவில் 'பெருக்க எண்' என்பது என்ன? அதற்கு ஒரு கோவையைத் தருவி.
5. ஜீனர் சீர்குலைவு என்றால் என்ன? அது எப்போது தோன்றும்? பொதுவாகச் சரிவாக அமைந்துள்ள சந்தியில் தோன்றும் சீர்குலைவுபற்றி விளக்கி எழுது.
6. ஒரு P-N சந்தியில் முன்னோக்கிய திசை மின்னோட்டத்தின் சிறப்பியல்புகள் யாவை?
7. ஒரு P-N சந்தியில் தோன்றும் முன்னோக்கிய திசை மின்னோட் டத்திற்கு ஒரு கோவையைக் காண்.
8. P-N சந்தியில் உயர் மின்னோட்டம் எப்போது தோன்றும் என்று விளக்கி எழுது.

9. டிரான்சிஸ்டரின் கோட்பாடு

அறிமுகம்

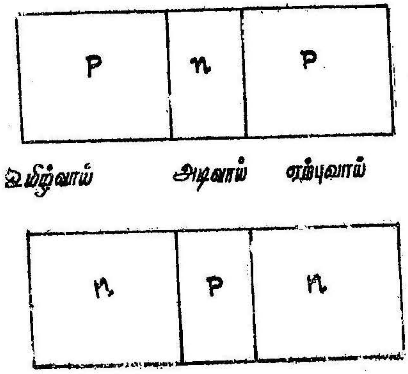
திடநிலை இயற்பியல் பகுதியில் மிக முக்கியமான ஒரு கண்டு பிடிப்பு டிரான்சிஸ்டரே ஆகும். ஒரு டிரான்சிஸ்டர் வெற்றிடக் குழல் டிரையோடு போலவே மின்பெருக்கியாகவும், மின் அலை இயற்றியாகவும் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஆனால், டிரையோடு வால்வோடு ஒப்பிடப்படும்போது இதன் உருவ அளவு மிக மிகச் சிறியதாக இருக்கும். குறைகடத்தி டையோடுகளைப்போலவே, டிரான்சிஸ்டர்களையும் இரண்டு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். அவை யாவன: 1. சந்தி டிரான்சிஸ்டர்கள். 2. புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர்கள். புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர்கள்தாம் சந்தி டிரான்சிஸ்டருக்கு முன்பாகவே கண்டுபிடிக்கப்பட்டன.

ஒரு *P-N* சந்தியைப் பற்றி ஏற்கனவே, மிக விரிவாக விளக்கப் பட்டிருக்கிறது. இதன் அடிப்படையில் ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் அமைப்பையும், செயல்முறைகளையும் விளக்குவது எளிது. ஒரு டிரான்சிஸ்டரில் மூன்று பகுதிகளுள்ளன. இதை ஒரு டிரையோடு டிரான்சிஸ்டர் என்று சொல்லலாம். ஒரு டிரான்சிஸ்டரில் *n*-வகைப் பகுதியும், *p*-வகைப் பகுதியும் இருக்கும் நிலைகளைப் பொருத்து அவை ஒரு *N-P-N* டிரான்சிஸ்டர் என்றோ அல்லது *P-N-P* டிரான்சிஸ்டர் என்றோ சொல்லப்படுகிறது. ஒரு *P-N-P* டிரான்சிஸ்டரில் இரண்டு முனைகளில் *p*-வகைக் குறைகடத்தியும், நடுப்பகுதியில் ஒரு *n*-வகைக் குறைகடத்தியும் இருக்குமாறு அமைக்கப்படுகிறது. இந்த டிரான்சிஸ்டரில் இரண்டு சந்திகள் இருக்கும். நடுவிலுள்ள பகுதி அடிவாய் என்றும், ஓரங்களில் உள்ள பகுதியில் ஒன்று ஏற்புவாய் என்றும் மற்றது உமிழ்வாய் என்றும் சொல்லப்படும்.

ஒரு *P-N-P* டிரான்சிஸ்டரில் நடுவிலுள்ள *n*-பகுதி அடி வாயாகவும், ஓரங்களிலுள்ள *p*-பகுதிகளில் ஒன்று ஏற்புவாயாகவும் மற்றொன்று உமிழ்வாயாகவும் செயற்படும். நடுவிலுள்ள அடிவாய்ப் பகுதி மிகக் குறுகியதாக 0.1 மி.மீ அளவுதான் இருக்கும். ஒரு *P-N-P* டிரான்சிஸ்டருக்கு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படும்போது

முதல் P-N சந்தியில் P-பகுதி நேர்மின்னழுத்தம் கொண்டதாகவும், அடுத்துள்ள N-பகுதி எதிர் மின்னழுத்தம் உள்ளதாகவும் அமைக்கப்படுகிறது. இதனால், இப்பகுதி முன்னோக்கிய பயாசில் இருக்கும். அடுத்துள்ள N-P சந்தியில் p-பகுதி எதிர் மின்னழுத்தம் பெற்றும், n-பகுதி நேர் மின்னழுத்தம் பெற்றும் இருக்கும்படி அமைக்கப்படும். இப்பகுதி திருப்பிய பயாசில் இருக்கும்.

முன்னோக்கிய பயாசிலுள்ள p-பகுதி உமிழ்வாய் என்று சொல்லப்படுகிறது. நடுவிலுள்ள n-பகுதி இரண்டுக்கும் பொதுவான அடிவாய் என்று கூறப்படுகிறது. திருப்பிய பயாசிலுள்ள



படம் 9.1
சந்தி டிரான்சிஸ்டர்கள்

p-பகுதி ஏற்புவாயாகும். முன்னோக்கிய திசையில் பயாசு பெற்றுள்ள சந்தி 'உமிழ்வாய் சந்தி' என்றும் திருப்பிய பயாசிலுள்ள சந்தி 'ஏற்புவாய் சந்தி' என்றும் கூறப்படும்.

ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் முக்கியமான செயல் ஒரு சந்தியிலுள்ள மின்னோட்டத்தையோ அல்லது மின்னழுத்தத்தையோ மற்றொரு சந்தியிலுள்ள மின்னோட்டமோ அல்லது மின்னழுத்தமோ கட்டுப்படுத்துவதேயாகும். சந்திகளில் ஓடும் சிறுபான்மை, பெரும்பான்மை ஊர்திகளைக் கட்டுப்படுத்த முடியுமாகையால் இது எளிதாகிறது. இரண்டு P-N சந்திகளை ஒன்றுக்கும்போதுதான் ஒரு டிரையோடு டிரான்சிஸ்டர் கிடைக்கிறது. எல்லா டிரான்சிஸ்டர்களுக்கும் சில பொதுவான குணங்கள் உண்டு. அவை:

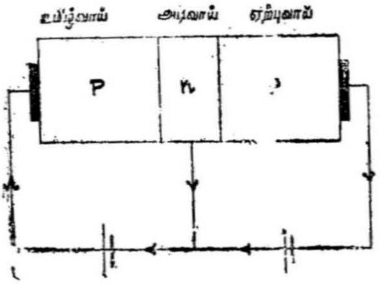
1. உருவத்தில் மிகமிகச் சிறியவை.

2. செயல்புரியும் இடம் 1 க.செ.மீக்கும் குறைவாக இருக்கும்.

3. டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்புகள் அது செயற்படும் வெப்ப நிலையைப்பொருத்தே அமையும். எனவே, டிரான்சிஸ்டரின் நிலைத்தன்மை (சுற்றுகளில்) வெப்பநிலை சார்ந்ததாக அமைந்துவிடுகிறது.

4. 90°C-வரை ஜெர்மேனியம் டிரான்சிஸ்டர்களைப் பயன் படுத்தலாம். அதற்கும் மேலே 200°C-வரை சிலிக்கான் டிரான்சிஸ்டர்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

டிரான்சிஸ்டர்களில் சந்தி டிரான்சிஸ்டர்கள், புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டர்கள் என்று இருவகைகள் உண்டு என்று கண்டோம். இந்த வேறுபாடு அவை தயாரிக்கப்படும் அடிப் படையில் அமைந்தவை. புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ் டர்கள் இப்போது அதிக மாகப் பயன்படுத்தப் படுவ தில்லை. ஆனால், இவைதாம் முதன் முதலில் கண்டுபிடிக் கப்பட்டு பயன்பாட்டுக்கு வந்தன. புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டரைப்பற்றி வேறொரு தலைப்பில் விரி வாக விளக்கப்பட்டிருக் கிறது. புள்ளித்தொடு டிரான்சிஸ்டரில் இரண்டு புள்ளித்தொடு டையோடுகள் உள்ளன. இந்த டையோடுகளுக்குத் தேவைக்கேற்றபடி பயாசுகள் கொடுக்கப்பட்டால் அது மிக நல்ல டிரான்சிஸ்டராகச் செயற்பட்டுத் திறன்பெருக்கத்தைத் தரும்.

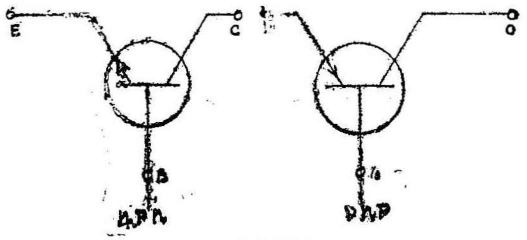


படம் 9·2(a)
சந்தி டிரான்சிஸ்டரின் பயாசுகள்

எலக்ட்ரானியல் கருவிகளில் கொடுக்கப்படும் சிறிய மின் னழுத்தங்களையோ அல்லது மின்னோட்டங்களையோ பெருக்கி, உயர்மட்டத்தில் திறன்மிக்கதாகத் தரும் பெருக்கிக்கருவிகள்தாம் முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை. அப்படிப்பட்ட கருவிகள் திறமை வாய்ந்ததாக, பெருக்கம் மிக்கதாக இருக்கவேண்டும். கொடுக்கப் படும் சைகையானது பெருக்கப்பட்டு வெளிவரும்போது உருவம் அழியாததாக இருக்கவேண்டும். ஒரு நீண்ட அதிர்வெண் நெடுக் கத்தில் இந்தக் கருவி செயற்பட வேண்டும்.

டிரான்சிஸ்டர் செயற்படும் முறை

n-பகுதி நேர்மின்னழுத்தம் கொண்டிருக்கும்படியும், *p*-பகுதி எதிர் மின்னழுத்தம் கொண்டிருக்கும்படியும் ஏற்புவாய்ச் சந்தி *N-P*-க்குத் திருப்பிய பயாசு கொடுக்கப்படுகிறது என்றும் உமிழ் வாய்ச் சந்தி *P-N* பயாசு கொடுக்கப்படாமல் இருப்பதாகவும் கொள்வோம். இப்போது ஏற்புவாய்ச் சுற்றில், திருப்பிய பயாசில் மிகக் குறைந்த மின்னோட்டம் சில மைக்ரோ ஆம்பியர் அளவில் இருக்கும். இது I_R-திருப்புதிசை தெவிட்டிய மின்னோட்டத் திற்குச் சமமாகும். இப்போது உமிழ்வாய்ச் சந்தி முன்னேக்கிய திசையில் பயாசு பெறுவதாகக் கொள்வோம். இதனுல் உமிழ் வாய்ச்சுற்றில் ஒரு மின்னேட்டம்தோன்றும். உமிழ்வாய்ச் சுற்றில்



படம் 9·2(b)
இருவகை டிரான்சிஸ்டர்களின் குறியீடுகள்

இந்த மின்னேட்டம் தோன்றியவுடன் ஏற்புவாய்ச் சுற்றிலுள்ள மின்னேட்டத்தின் அளவு கூடுதலாகிறது அல்லது அதிகரிக்கிறது. இந்த ஏற்புவாய் மின்னேட்டம் உமிழ்வாய் மின்னேட்டத்தை விடக் குறைந்ததாயிருக்கும். உமிழ்வாய் மின்னேட்டம் மிகுதி யானுலோ அல்லது குறைந்தாலோ அதற்கேற்றுற்போல் ஏற்பு வாய் மின்னேட்டமும் மிகவோ அல்லது குறையவோ செய்யும்.

இந்த முறையில் முன்னேக்கிய பயாசுபெற்ற உமிழ்வாய் மின்னேட்டம் திருப்பிய பயாசு பெற்ற ஏற்புவாய் மின்னேட் டத்தைக் கட்டுப்படுத்துவது ஒரு வெற்றிட டிரையோடு வால்வின் செயலை ஒத்திருக்கிறது—[தகட்டு மின்னேட்டத்தைக் கிரிட் மின்னழுத்தம் கட்டுப்படுத்துவதைப்போல]. இதைத்தான் டிரான்சிஸ்டர் செயற்படும் முறை என்கிறேம். திருப்பிய பயாசி லிருக்கும் ஏற்புவாய்ச்சுற்றில் எவ்வாறு மின்னேட்டம் மிகுதி யாகிறது என்பதை இங்கு விளக்கலாம்.

P-N சந்திக் கோட்பாடுகளைப்பற்றி விளக்கும்போது, முன் னேக்கிய பயாசுபெற்ற *P-N* சந்தியில் இரண்டு பக்கங்களிலு

மிருந்தும் பெரும்பான்மை ஊர்திகள் சந்திவழியே ஊடுருவிச் செல்கின்றன. *p*-பகுதியிலுள்ள துளைகள் *n*-பகுதிக்கும், *n*-பகுதியிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் *p*-பகுதிக்கும் சந்தியைக் கடந்து செல்கின்றன. ஒரு *P-N-P* டிரான்சிஸ்டரில் வழக்கமாக *p*-வகைப் பகுதிகள் மிகுந்த கடத்துதிறனைப் (*n*-வகையைக் காட்டிலும்) பெற்றிருக்கும். எனவே, டிரான்சிஸ்டரின் இரண்டு சந்திகளிலும் துளை மின்னோட்டம்தான் பெருமளவில் இருக்கும். எனவே, உமிழ்வாய்ச் சந்தியருகே *p*-பகுதியிலிருந்து (உமிழ்வாயிலிருந்து) அடிவாய்ப் பகுதிக்குத் துளைகள் மிகுந்த எண்ணிக்கையில் உட்புகுந்து ஓடும். *n*-வகை அடிவாய்ப்பகுதியில் புகுந்த இந்தத் துளைகள் அங்குள்ள பெரும்பான்மை ஊர்திகளான எலக்ட்ரான்களுடன் ஒன்றிவிட முற்படும். ஆனால், இந்த அடிவாய்ப் பகுதி (*n*-வகை) யின் தடிமன் மிகச் சிறியதாகவும், இங்குள்ள சிறுபான்மை ஊர்திகளான துளையின் ஊடுருவல் நீளம் L_p-ஐ விடக் குறைவாகவும் இருக்கும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. எனவே, ஒரு சில துளைகள்தாம் எலக்ட்ரான்களுடன் ஒன்றிவிடக் கூடும். மற்றவை *n*-பகுதியின் அடுத்த முனைக்கு வந்து சேர்ந்துவிடும்.

இந்த அடிவாய்ப்பகுதி மிகக் குறுகியதாக இருப்பதால்தான் உமிழ்வாய்ப் பகுதியிலிருந்து உள்ளேவரும் துளைகள் எலக்ட்ரான்களுடன் ஒன்றிட வாய்ப்பின்றி, நேரமின்றி ஏற்புவாய்ச் சந்தியை விரைவில் வந்தடைகின்றன. இவை ஏற்புவாய்ச் சந்தியைக் கடந்து ஏற்புவாய்ப் பகுதிக்குள் நுழைந்துவிடுகின்றன. இதனால்தான், ஏற்புவாய்ச்சுற்றில் மின்னோட்டம் அதிகரிக்கிறது. ஏறத்தாழ அடிவாய்ப் பகுதிக்குள் உட்புகுத்தப்பட்ட துளைகள் எல்லாமே ஏற்புவாய்ச் சந்தியைக் கடந்து ஏற்புவாய்ப்பகுதிக்குள் நுழைந்துவிடுகின்றன. ஏற்புவாய்ச் சந்தி திருப்பிய பயாசிலிருப்பதால் இத்துளைகள் எதிர்மின்வாய் நோக்கி ஈர்க்கப்பட்டு ஓடுகின்றன. எனவேதான், ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் உடனடியாக மிகுதியாகிறது. இருந்தாலும் ஏறத்தாழ 5 விழுக்காடு அளவுக்குத் துளைகள் எலக்ட்ரான்களுடன் அடிவாய்ப்பகுதியில் ஒன்றிவிடக் கூடும். மீதமுள்ள எலக்ட்ரான்கள்தாம், ஏற்புவாய்ச் சந்தியை அடைந்து அதைத் தாண்டிச்செல்லுகின்றன.

உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் அதிகரிக்கப்படும்போது மேலும் அதிகமான துளைகள் அடிவாய்ப்பகுதிக்குள் உட்புகுத்தப்படுகின்றன. இவை அடிவாய்ப்பகுதியைக் கடந்து ஏற்புவாய்ப் பகுதியை அடைவதால்தான் ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் மேலும் உயருகிறது. இவ்வாறாக உமிழ்வாய்ப் பகுதியிலுள்ள பெரும்பான்மை ஊர்திகளான துளைகள்தாம் ஏற்புவாய் மின்னோட்

டத்தை உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் கட்டுப்படுத்துவதற்குக் காரண மாய் அமைபவை. எனவே, உமிழ்வாய்ச்சுற்று முன்னோக்கிய பயாசும், ஏற்புவாய்ச் சுற்று திருப்பிய பயாசும் பெற்றிருக்கையில் இரண்டு சுற்றுகளிலுமே ஒரளவு மின்னோட்டம் இருக்கக் காணலாம்.

அடிவாய்ப் பகுதியில் உள்ளே புகுந்த துளைகள் எல்லாமே, ஏற்புவாய்ச் சந்தியைக் கடந்துசெல்வதில்லை என்று கூறப்பட்டது. ஒரு சில துளைகள் அடிவாய்ப் பகுதியிலுள்ள எலக்ட்ரான்களுடன் ஒன்றி, அங்கு ஒரு அடிவாய் மின்னோட்டத்தைத் தோற்றுவிக்கிறது இந்த மின்னோட்டம் அடிவாய் இணைப்பு நோக்கித் தடைமிகுந்த வழியில் ஓடும். இதன் விளைவாகத்தான் ஏற்புவாய் மின்னோட்ட மானது எப்போதுமே உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தைவிடச் சிறிது குறைவாகவே யிருக்கிறது. அடிவாய்ப் பகுதியில் சில துளைகள் எலக்ட்ரான்களுடன் ஒன்றுவதால்தாம் ஒரு சிறிய அடிவாய் மின்னோட்டம் இருக்கிறது.

ஒரு *P-N-P* டிரான்சிஸ்டரில் இவ்வாறாக, பெரும்பான்மை ஊர்திகளான துளைகள் உமிழ்வாய்ப் பகுதியிலிருந்து ஏற்புவாய்ப் பகுதிக்கு அடிவாய்ப் பகுதி வழியே செல்லுவதுதான் ஒரு முதன் மையான செயலாகும். ஏற்புவாய்ப் பகுதியிலுள்ள துளைமின் னோட்டமானது உமிழ்வாய்ப் பகுதியிலுள்ள துளை மின்னோட் டத்தைவிட மிகுதியாக இருக்காது என்று சொல்லப்பட்டது. டிரான்சிஸ்டர்களில் இந்த மின்னோட்டம்தாம் முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை. உமிழ்வாய்ப் பகுதி முன்னோக்கிய பயாசைப் பெற் றிருப்பதால் மின்னோட்டத்திற்குக் குறைந்த தடையையே கொடுக்கும். ஏற்புவாய்ப்பகுதி திருப்பிய பயாசிலிருப்பதால் இது மின்னோட்டத்திற்கு மிகுந்த தடை உடையதாயிருக்கும். தடை குறைந்த உமிழ்வாய்ப் பகுதியிலிருந்து தடை மிகுந்த ஏற்பு வாய்ப் பகுதிக்குச் சென்று மின்னோட்டம் வெளிப்படுவதால் தான் டிரான்சிஸ்டரில் திறன்பெருக்கம் (power gain) ஏற்படு கிறது.

ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தை, உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தைக் கொண்டு மிகுந்த அளவு கட்டுப்படுத்த; அடிவாய்ப் பகுதியில் எலக்ட்ரான், துளை ஒன்றிப்பு பெருமளவு குறைக்கப்பட வேண்டும். அடிவாய்ப்பகுதி செய்யப்படும் *n*-வகைக் குறைகடத்திப் பொருள் பொருத்தமாகத் தேர்ந்தெடுக்கப்படவேண்டும். துளைகளின் வாழ்வு நேரம் மிகுதியாக இருக்கும்படி இந்தப் பொருள் தேர்ந் தெடுக்கப்படுகிறது.

உமிழ்வாய்ச்சுற்றில் துளை மின்னோட்டத்தைத் தவிர எலக்ட்ரான்களின் ஓட்டத்தாலும் மின்னோட்டம் இருக்கும். n-வகை அடிவாய்ப்பகுதியிலிருந்து p-வகை ஏற்புவாய்ப் பகுதிக்குச் சந்திப்பைக் கடந்து இந்த எலக்ட்ரான்கள் ஓடும். இந்த எலக்ட்ரான் மின்னோட்டமானது ஏற்புவாய்க்கும், அடிவாய்க்கும் இடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டைப் பொறுத்து அமையும். துளை மின்னோட்டச் செறிவுக்கும் எலக்ட்ரான் மின்னோட்டச் செறிவுக்கும் உள்ள தகவை P-N சந்தியில் கணக்கிட்டிருக்கிறோம்.

$$\frac{J_p}{J_n} = \frac{\sigma_p}{\sigma_n} \frac{L_n}{L_p} \quad \ldots 9 \cdot 1$$

J_p — என்பது துளை மின்னோட்டச் செறிவு.

J_n — என்பது எலக்ட்ரான் மின்னோட்டச் செறிவு.

σ_p — என்பது p-வகை உமிழ்வாயின் மின்கடத்துதிறன்.

σ_n — என்பது n-வகை அடிவாயின் மின்கடத்துதிறன்.

L_p — என்பது p-பகுதியில் எலக்ட்ரானின் ஊடுருவல் நீளம்.

L_n — என்பது n-பகுதியில் துளையின் ஊடுருவல் நீளம்.

அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலம்-W, ஊடுருவல் நீளம் L_p-ஐ விடக் குறைவாக இருக்குமானால் சமன்பாடு 1-ஐத் திருத்தி எழுதலாம்.

$$\frac{J_p}{J_n} = \frac{\sigma_p}{\sigma_n} \frac{L_n}{W} \quad \ldots 9 \cdot 2$$

டிரான்சிஸ்டர் தயாரிக்கப்படும்போது அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலம் W, p-வகை அடிவாய்ப் பகுதியில் எலக்ட்ரானின் ஊடுருவல் நீளம் L_n-உடன் ஒப்பிடப்படும்போது மிகமிகக் குறுகியதாயிருக்கும்படி செய்யப்படுகிறது.

p-வகை உமிழ்வாய்ப் பகுதியின் கடத்துதிறன் σ_p, n-வகை அடிவாய்ப் பகுதியின் கடத்துதிறன் σ_n ஐ விட மிகமிக அதிகமாயிருக்கும்படி குறைகடத்திப் பொருள்கள் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகின்றன. எனவே, இவை $\frac{J_p}{J_n}$ தகவு மிக அதிகமாய் இருக்கும்படி செய்துவிடும். இவ்வாறு P-N-P டிரான்சிஸ்டரில் துளைகள் ஒரு முக்கிய செயலிகளாகத் திகழ்கின்றன.

ஏற்புவாய் திருப்பிய பயாசு பெற்றிருப்பதால், உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் சுழியாக இருக்கும்போதுகூட ஏற்புவாய்ச் சுற்றில் ஒரு சிறிது சில மைக்ரோ ஆம்பியர்கள் மின்னோட்டம் இருக்கும். இதுதான் டையோடு சந்தியில் திருப்புதிசை மின்னோட்டம் (reverse current I_R). இந்த மின்னோட்டம் I_R, அடிவாய், ஏற்பு வாய்ப் பகுதிகளின் சிறுபான்மை ஊர்திகளினால் தோற்றுவிக்கப் படுபவை. இந்த, சிறுபான்மை ஊர்திகளின் எண்ணிக்கை வெப்ப நிலையைச் சார்ந்தவை என்பது தெளிவு. ஏனெனில், இந்தச் சிறு பான்மை ஊர்திகளான எலக்ட்ரான்களும், துளைகளும் இணைதிறப் பிணைப்பு உடைந்து தோன்றுபவை. இணைதிறப் பிணைப்பு உடைவது வெப்பநிலையைப் பொருத்தது என்பது தெரியும். வெப்பநிலை மாறுபட்டால் டிரான்சிஸ்டர்களின் சிறப்பியல்புகளில் மாற்றம் தோற்றுவதற்கு இந்த மின்னோட்டம் I_R-தான் காரணமாகிறது. (I_R-வெப்பநிலை உணர்வுடையதாயிருப்பதால்).

ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் மின்னோட்டப் பெருக்க எண் (current amplification factor)

முன்னோக்கிய பயாசு பெற்ற உமிழ்வாய்ச் சுற்றிலுள்ள மின்னோட்டம் சிறிது மாறுபட்டாலும், உடனடியாக ஏற்புவாய் மின்னோட்டமானது அதற்கு ஏற்றாற்போல் மாறுபடுகிறது என்று மேலே விளக்கப்பட்டது அடிவாய், ஏற்புவாய்களுக்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு மாறாதிருக்கும்போது, ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தில் தோன்றும் மாற்றத்திற்கும், அதைத் தோற்றுவிக்கும் உமிழ்வாய் மின்னோட்ட மாற்றத்திற்கும் உள்ள தகவு 'மின்னோட்டப் பெருக்க எண்' (current amplification factor) எனப்படும். இது ஆல்பா — α (Alpha — α) என்ற கிரேக்க எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது.

$$\alpha = \left(\frac{\partial i_c}{\partial i_e} \right)_{V_{cb}} \qquad \ldots \quad 9\cdot3$$

i_c, i_e -என்பவை முறையே ஏற்புவாய், உமிழ்வாய் மின்னோட்டங்களாகும்

மேலே சொல்லப்பட்ட வரையறையிலிருந்து இந்த மின்னோட்டப் பெருக்க எண் ஒன்றுக்கும் குறைவாகத்தான் இருக்கும் என்பது தெளிவாகத் தெரிகிறது. ஏனெனில், ஒரு சிறிய அடிவாய்ப் பகுதி மின்னோட்டத்தால் இதன் அளவு குறைக்கப்படுகிறது. α-ன் மதிப்பு 0 9-லிருந்து 0·98 வரை இருக்கும்.

வரையறை

ஏற்புவாயிலிருந்து அடிவாய்க்கு உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு V_{cb} மாறாதிருக்கும்போது ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் i_c-ல் தோன்றும் மாற்றத்திற்கும் அடிவாய் மின்னோட்டம் i_b-ல் தோன்றும் மாற்றத்திற்குமுள்ள தகவு ஏற்புவாய், அடிவாய் மின்னோட்டப் பெருக்க எண் என்று சொல்லப்படுகிறது.

இது β-பீட்டா (Beta) என்ற கிரேக்க எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது.

$$\beta = \left[\frac{\partial i_c}{\partial i_b}\right]_{V_{cb}} \qquad \ldots 9.4$$

β-ன் மதிப்பு 10-லிருந்து 70-வரை இருக்கும். சமன்பாடு 9 3-லிருந்து,

$$\partial i_c = \alpha \cdot \partial i_e \qquad \ldots 9.5$$

ஏற்புவாய் மின்னோட்டம், அடிவாய் மின்னோட்டம் ஆகியவற்றின் கூட்டுத்தொகையே உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்திற்குச் சமம் ஆகும்,

$$\partial i_c + \partial i_b = \partial i_e$$

$$\alpha \partial i_e + \partial i_b = \partial i_e$$

$$\partial i_b = \partial i_e (1 - \alpha)$$

இருபுறங்களிலும் ∂i_c-ஆல் வகுக்க,

$$\frac{\partial i_b}{\partial i_c} = \frac{\partial i_e}{\partial i_c}(1 - \alpha)$$

வரையறைகளின் படி,

$$\frac{\partial i_b}{\partial i_c} = \frac{1}{\beta}\ ;\ \frac{\partial i_e}{\partial i_c} = \frac{1}{\alpha}$$

$$\therefore \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\alpha}(1 - \alpha)$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad \ldots 9.6$$

இது டிரான்சிஸ்டர் கோட்பாட்டில் ஒரு முக்கியமான சமன்பாடு ஆகும்.

உமிழ்வாய்த் திறம்- (γ) [Emitter efficiency (γ)]

உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் I_e-ஆனது இரு கூறுகளாலானது என்று கூறப்பட்டது. (i) துளை மின்னோட்டக்கூறு-i_{ep}. (ii) எலக்ட்ரான் மின்னோட்டக்கூறு-i_{en}. *P-N-P* சந்தியின் செயல் முறையை விளக்கும்போது இந்தத் துளை மின்னோட்டம்தான் உமிழ்வாய்ச் சுற்றையும் ஏற்புவாய்ச் சுற்றையும் இணைக்கும் கூறு என்று கூறப்பட்டது. ஒரு *P-N-P* டிரான்சிஸ்டரில் இந்தத் துளை மின்னோட்டம் அதிகமாயிருந்தால் உமிழ்வாய்ப் பகுதியானது அடிவாய்ப் பகுதிக்குள் உட்புகுத்தும் துளைகள் மிகுதியாயிருக்கும். உட்புகுத்தப்படும் துளைமின்னோட்டத்தின் அளவு மிகுதியாயிருந் தால் அது திறம்வாய்ந்த உமிழ்வாய் எனப்படும். எனவே, ஒரு உமிழ்வாயின் திறத்தைக் கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கலாம்.

வரையறை

உட்புகுத்தப்பட்ட துளைமின்னோட்டத்தில் தோன்றும் மாறுபாட்டுக்கும், மொத்த உமிழ்வாய் மின்னோட்ட மாறுபாட் டுக்கும் உள்ள தகவு உமிழ்வாய்த்திறம் எனப்படும். இது γ-காமா (Gamma) என்ற கிரேக்க எழுத்தால் குறிக்கப்பட்டுள்ளது.

$$\gamma = \frac{\partial i_{ep}}{\partial i_e} = \frac{\partial i_{ep}}{\partial i_{ep} + \partial i_{en}} \quad \ldots 9.7$$

ஒரு *P-N-P* டிரான்சிஸ்டரில் *P*-வகை உமிழ்வாய்ப் பகுதியின் மின்கடத்துதிறன் σ_p, *n*-வகை அடிவாய்ப் பகுதியின் மின் கடத்துதிறன்-σ_n-ஐவிடப் பன்மடங்கு மிகுதியாய் இருக்குமாறு பொருள்கள் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகின்றன என்று முன்பு கூறப்பட் டது. இதேபோன்று *n*-வகைக் குறைகடத்திப்பகுதியின் அகலம்-*W* குறுகியதாக, *n*-பகுதியில் துளைகளின் ஊடுருவல் நீளம் L_p-ஐவிடக் குறைவாக இருக்கும்படி செய்யப்படுகிறது என்றும் சொல்லப் பட்டது. இதனால் உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தில், எலக்ட்ரானால் தோற்றுவிக்கப்படும் கூறு i_{en} மிகமிகக் குறைவாக

ஆக்கப்படுகிறது (0.1%). இதன் விளைவாக உமிழ்வாய்த்திறம் அதிகரிக்கப்படுகிறது.

உமிழ்வாய்த் திறம் γ-வானது உமிழ்வாய் மின்கடத்துதிறனோடும், உமிழ்வாயில் எலக்ட்ரான்களின் ஊடுருவல் நீளம் L_n-னோடும் மிகுதியாகும். W-அதிகமானால் உமிழ்வாய்த் திறம் குறையும்.

ஏற்புவாய்த் திறம் (δ) (Collector efficiency)

ஏற்புவாய்த்திறம் என்பதைக் கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கலாம்.

வரையறை

ஏற்புவாய்ப் பகுதியைவிட்டுச் செல்லும் மின்னோட்டத்திற்கும் அடிவாய்ப் பகுதியிலிருந்து ஏற்புவாய்ப் பகுதிக்குள் நுழையும் துளை மின்னோட்டத்திற்குமுள்ள தகவு 'ஏற்புவாய்த் திறம்' எனப்படும்.

இந்த ஏற்புவாய்த்திறம் (δ)-டெல்டா (Delta) என்ற கிரேக்க எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. இது 'ஏற்புவாய்ப் பெருக்க எண்' (collector multiplication factor) என்றும் கூறப்படுகிறது இதன் மதிப்பு ஒன்றுக்கு மேற்பட்டும் இருக்கக்காணலாம்.

ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம் மிகுதியாயிருக்கும்போது ஏற்புவாய் நோக்கி ஓடிவரும் துளைகள் மிகுந்த முடுக்கத்தையும் வேகத்தையும் பெற்றிருக்கும். இவை அணுக்களின்மீது மோதி அவற்றை அயனியாக்கிவிடும். இதன் விளைவாகத் துணை மின்னூர்திகள் (Secondary carriers) தோன்றலாம். இவையும் ஏற்புவாய்த் திறன் பெருகக் காரணமாய் அமையும்.

இடப்பெயர்ச்சி எண் β^* (Transport factor)

துளை மின்னோட்டக்கூறு அடிவாய்ப் பகுதிக்குள் உட்புகுத்தப்படும்போது இவற்றில் சில துளைகள் அடிவாய்ப் பகுதியிலிருக்கும் எலக்ட்ரான்களோடு ஒன்றிவிடுவதால் சில துளைகளை இழக்க நேரிடுகிறது. இந்த ஒன்றிப்பினால்தான் சிறிய அடிவாய் மின்னோட்டம் தோன்றுகிறது. இதிலிருந்து இடப்பெயர்ச்சித் திறம் அல்லது எண் (Transport efficieney or factor)-என்ற ஒன்றை வரையறுக்கலாம்.

வரையறை

ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தில் தோன்றும் மாறுபாட்டுக்கும் துளைமின்னோட்டத்தின் கூறு i_{cp}-ல் தோன்றும் மாறுபாட்டுக்கும்

உள்ள தகவு 'இடப்பெயர்ச்சி எண்' அல்லது 'இடப்பெயர்ச்சித் திறம்' எனப்படுகிறது.

இது β^*-பீட்டா ஸ்டார் (Beta-Star) என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படும்.

$$\beta^* = \frac{\partial i_c}{\partial i_{ep}} \quad \ldots 9.8$$

முடிந்தவரை பெருமளவான துளைமின்னோட்டம் ஏற்புவாய்ச் சந்தியை அடைந்தால் இந்த இடப்பெயர்ச்சி எண்ணின் மதிப்பு உயர்ந்ததாக இருக்கும். இது ஏற்புவாய் மின்னோட்டமாகக் கிடைக்கும். அடிவாய்ப்பகுதியின் அகலம் W எவ்வளவுக்கெவ் வளவு குறைவாக இருக்கிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு இந்த இடப்பெயர்ச்சி எண்ணின் மதிப்பு உயர்ந்ததாக இருக்கும். ஏனெனில், குறுகிய அடிப்பகுதியில் ஒன்றிடும் செயல்வீதம் மிகமிகக் குறைவாக இருப்பதே காரணம். உட்புகுந்த துளைகளில் சில துளைகள் மட்டும்தாம் ஒன்றிடும் செயலால் இழக்கப்படும்.

மின்னோட்டப் பெருக்கம்-α, உமிழ்வாய்த் திறம்- γ, இடப் பெயர்ச்சி எண்-β^* ஆகியவற்றினிடையேயுள்ள தொடர்பைப் காணலாம்.

$$\alpha = \frac{\partial i_c}{\partial i_e} = \frac{\partial i_c}{\partial i_{ep}} \frac{\partial i_{ep}}{\partial i_e} = \beta^* \gamma$$

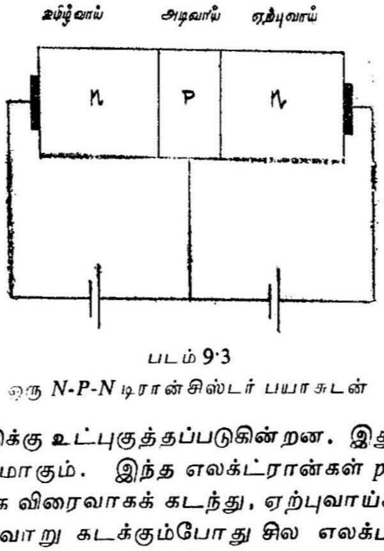
$$\therefore \alpha = \beta^* \gamma \quad \ldots 9.9$$

γ, β^*-ன் ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் ஏறத்தாழ ஒன்றாக இருக்கும் படி செய்யலாம். இதனால், மின்னோட்டப் பெருக்கம் α-ன் மதிப்பு 0.99 வரை உயர்த்தப்படலாம்.

ஏற்புவாயின் மின்னழுத்தம் அதிகப்படுத்தப்படும்போது α-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட மற்றொன்றையும் கணக்கில் எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். உயர் மின்னழுத்தத்தில் ஏற்புவாய்ப் பகுதி யில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கில் சரிவுச்சீர்குலைவு தோன்ற வாய்ப்புண்டு. ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தின் இந்தச் சீர்குலைவுப் பெருக்கத்தையும் கணக்கிலெடுத்துக்கொண்டுதான் α-வைக் கணக்கிட வேண்டும்.

ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம் குறைவாக இருக்கும்போதுதான் $\alpha = \beta^* \gamma$- என்று கொள்ளலாம். ஏற்புவாய் உயர் மின்னழுத்தத்தில் — $\alpha = \beta^*. \gamma \cdot \delta$—என்றுதான் கணக்கிடப்படுகிறது.

ஒரு *N-P-N* சந்தி டிரான்சிஸ்டரில் அடிப்பகுதியானது *p*-வகைப் பொருளாலானது. இது இரண்டு *n*-வகைப் பகுதிகளுக்கிடையே வைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒரு *n*-வகைப் பகுதி உமிழ்வாயாகவும் மற்றது ஏற்புவாயாகவும் செயற்படும். ஒரு *N-P-N* டிரான்சிஸ்டருக்குப் பயாசு மின்னழுத்தங்கள் கொடுக்க, உமிழ்வாய்ச் சுற்று முன்னோக்கிய திசையில் பயாசு பெற்றிருக்க வேண்டும். *n*-பகுதி எதிர் மின்னழுத்தத்திலும் *p*-பகுதி நேர் மின்னழுத்தத்திலும் இருக்கவேண்டும். ஏற்புவாய்ச்சுற்று திருப்பிய பயாசில் *p*-பகுதி எதிர் மின்னழுத்தமும், *n*-பகுதி நேர் மின்னழுத்தமும் பெற்றிருக்கும். *N-P-N* டிரான்சிஸ்டரில் உமிழ்வாய்ப் பகுதியில் எலக்ட்ரான்கள்தாம் பெரும்பான்மை ஊர்திகளாகும். இவை *n*-வகை உமிழ்வாய்ப் பகுதியிலிருந்து *p*-வகை அடிவாய்ப் பகுதிக்கு உட்புகுத்தப்படுகின்றன. இதுதான் உமிழ்வாய் மின்னோட்டமாகும். இந்த எலக்ட்ரான்கள் *p*-வகை அடிவாய்ப் பகுதியை மிக விரைவாகக் கடந்து, ஏற்புவாய்ச் சந்தியை அடைகின்றன. இவ்வாறு கடக்கும்போது சில எலக்ட்ரான்கள் *P*-வகை அடிவாய்ப் பகுதியிலுள்ள துளைகளுடன் ஒன்றிவிடக்கூடும். ஆனாலும், பெரும்பாலான எலக்ட்ரான்கள் ஏற்புவாய்ச் சந்தியைக் கடந்து ஏற்புவாய் மின்முனையைநோக்கி ஓடும். இதுதான் ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தின் பெரும்பங்கு ஆகிறது.

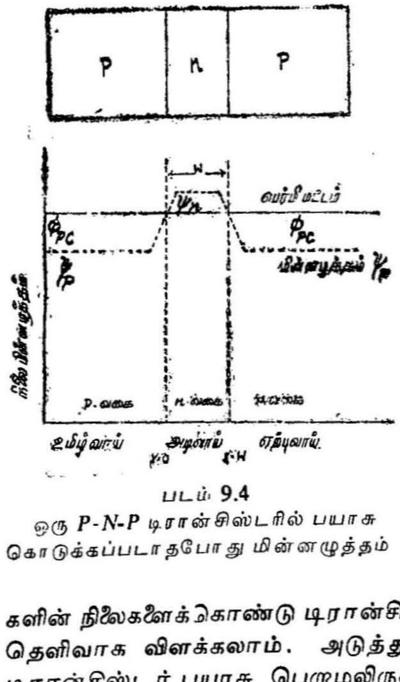


படம் 9·3
ஒரு *N-P-N* டிரான்சிஸ்டர் பயாசுடன்

P-N-P டிரான்சிஸ்டரைப்போலவே, *N-P-N* டிரான்சிஸ்டரிலும் உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்துகிறது. *N-P-N* டிரான்சிஸ்டர் செயற்படும் முறை, *P-N-P* டிரான்சிஸ்டர் செயற்படும் முறையை எல்லா வகையிலும் ஒத்திருக்கும். *P-N- P* டிரான்சிஸ்டரில் துளைகளால் மின்னோட்டம் ஏற்படும். ஆனால் *N-P-N* டிரான்சிஸ்டரில் எலக்ட்

ரான்களால் மின்னோட்டம் ஏற்படும். இந்த ஒரு வேறுபாடு தவிர செயல்முறையில் இவை இரண்டும் ஒரே மாதிரியாகத்தான் இருக்கும்.

N-P-N டிரான்சிஸ்டர் அல்லது *P-N-P* டிரான்சிஸ்டர் ஆகிய இரண்டிலுமே ஏற்புவாய்ப் பகுதியும், உமிழ்வாய்ப் பகுதியும் ஒரே வகையான பொருளால் ஆக்கப்படுகின்றன. ஆனாலும், இவையிரண்டும் வெவ்வேறு மின்கடத்துதிறன்களைப் பெற்றிருக்குமாறு தூசு அணுக்கள் கலக்கப்படுகின்றன. எனவே, மின்கடத்தலைப் பொருத்தவரையில் உமிழ்வாயும், ஏற்புவாயும் ஒரே மாதிரியாக இருப்பதாகக் கொள்ளமுடியாது. உமிழ்வாய் இருக்குமிடத்தில் ஏற்புவாயும், ஏற்புவாய் இருக்குமிடத்தில் உமிழ்வாயும் மாற்றி இணைக்கமுடியாது. இவை ஒன்றோடொன்று மாற்றத் தக்கதல்ல.



படம் 9.4
ஒரு *P-N-P* டிரான்சிஸ்டரில் பயாசு கொடுக்கப்படாதபோது மின்னழுத்தம்

ஒரு டிரான்சிஸ்டரில் வெவ்வேறு பகுதிகளில் உள்ள மின்னழுத்தங்களும், ஆற்றல் மட்டங்களும்

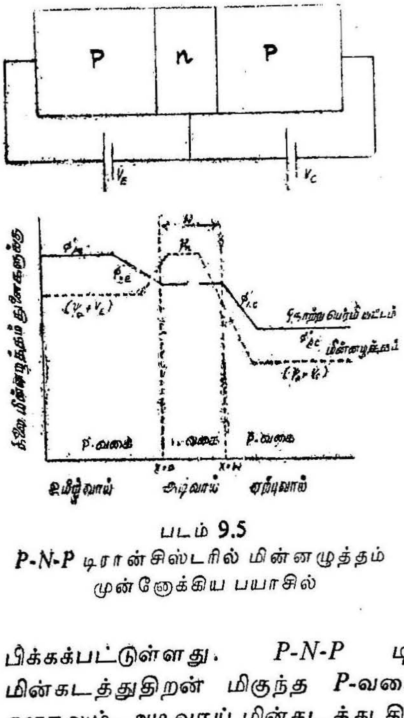
ஒரு *P-N-P* டிரான்சிஸ்டரிலுள்ள மின்னழுத்தங்களின் நிலைகளைக்கொண்டு டிரான்சிஸ்டர் செயற்படும் முறையைத் தெளிவாக விளக்கலாம். அடுத்துள்ள படம் 9·4 ஒரு *P-N-P* டிரான்சிஸ்டர் பயாசு பெறுமலிருக்கும்போதுள்ள மின்னழுத்தங்களையும், பயாசு பெற்றிருக்கும்போதுள்ள மின்னழுத்தங்களையும் காட்டுகிறது.

ஒரு *P-N-P* டிரான்சிஸ்டரில் இரண்டு *p*-பகுதிகளும் ஒன்றாக இணைக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இப்போது *n*-வகை அடிவாய்ப் பகுதியிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் இருபக்கங்களிலுமுள்ள சந்திகளைக் கடந்து *p*-பகுதிகளுக்குச் சென்றுவிடுகின்றன. அதே நேரத்தில் இரண்டு பக்கங்களிலுமுள்ள *P*-பகுதியிலுள்ள துளைகள் சந்திகளைக்கடந்து *n*-பகுதியாகிய அடிவாய்ப் பகுதியில் குவி

கின்றன. இவ்வாறு மின்னூட்ட ஊர்திகளின் இடப்பெயர்ச்சியால் இரண்டு பக்கங்களிலுமுள்ள p-பகுதிகளின் மின்னழுத்தம் குறைகிறது. அதேநேரத்தில் n-பகுதியாகிய அடிவாய்ப் பகுதியில் நேர் மின்னழுத்தம் உயர்ந்துவிடுகிறது. இவ்வாறு எலக்ட்ரான்களும், துளைகளும் இடப்பெயர்ச்சி அடைவது ஒரு சம நிலையை அடையும் வரை தொடரும். சமநிலையில் டிரான்சிஸ்டரின் மூன்று பகுதிகளிலும் மின்னூட்ட ஊர்திகள் பெரும் இயக்க ஆற்றலுடன் இருக்கும். ஆனால், இவற்றின் ஆற்றல் உமிழ்வாய்ச் சந்தி, ஏற்புவாய்ச் சந்தி ஆகிய இரு சந்திகளிலுமுள்ள மின்னழுத்த மேட்டை (மின்னழுத்தத் தடுப்பை) (Potential hill) தாண்டிச்செல்லப் போதுமானதாக இருக்காது. அறை வெப்ப நிலையில் இந்த மின்னழுத்தத் தடுப்பு $0 \cdot 1$ வோல்ட்டிலிருந்து $0 \cdot 3$ வோல்ட் வரை ஜெர்மேனியம் P-N-P டிரான்சிஸ்டரில் இருக்கும். படத்தில் ஒரு P-N-P டிரான்சிஸ்டருக்கான மின்னழுத்தநிலை பயாசு பெற்றிராதபோது கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது.

இந்த P-N-P டிரான்சிஸ்டர் படத்தில் காட்டியபடி பயாசு பெற்றிருப்பதாகக் கொள்வோம். உமிழ்வாய்ப் பகுதிக்கு இணைக்கப்படும் மின்கல அடுக்கின் மின்னழுத்தம் V_E எனக் கொள்வோம். இது மின்னழுத்தத் தடை V_B ஐ விடக் குறைவாக இருக்கிறது. ஏற்புவாய்ப் பகுதிக்குக் கொடுக்கப்படும் பயாசு V_C எனக் கொள்ளலாம். இது பல வோல்ட்கள் அளவு இருக்கும். இந்த பயாசுகள் கொடுக்கப்பட்டவுடன் P-N-P டிரான்சிஸ்டரிலுள்ள மின்னழுத்தம் படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் மாறிவிடும். பயாசு கொடுப்பதன் விளைவாக மின்னழுத்தம் மாறுவதை இவ்வாறு விளக்கலாம். உமிழ்வாய்ச் சந்தி முன்னோக்கிய பயாசைப் பெற்றிருப்பதால் உமிழ்வாய்ப் பகுதியில் மின்னழுத்தமானது மேல்நோக்கி உயர்ந்துவிடுகிறது. அடிவாய்ப் பகுதிக்கும் உமிழ்வாய்ப் பகுதிக்கும் இடையேயுள்ள மின்னழுத்தத் தடுப்பு சிறிது உயரம் குறைந்துவிடும். எனவே, மிகுதியான எண்ணிக்கையுள்ள துளைகள் உமிழ்வாய்ச் சந்தியிலுள்ள மின்னழுத்தத் தடுப்பைத் தாண்டிச்செல்வதற்குப் போதுமான வேகத்தைப் பெற்றிருக்கும். இதனால் உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் அதிகரிக்கிறது. அதேநேரத்தில் ஏற்புவாய்ச் சந்தியில் திருப்பிய பயாசானது மின்னழுத்தத்தடுப்பின் உயரத்தை அதிகமாக்குகிறது. எனவே, அடிவாய்ப் பகுதிக்குள் செலுத்தப்பட்ட துளைகள் ஏற்புவாய்ச் சந்தியைக் கடந்து ஏற்புவாய்ப் பகுதிக்குள் நுழைவது எளிதாகிறது. அதாவது துளைகள் மின்னழுத்த மேட்டிலிருந்து எளிதாக இறங்கிச் செல்லுகின்றன.

உமிழ்வாய்ப் பகுதியில் இணைக்கப்பட்டுள்ள மின்கல அடுக்கின் மின்னழுத்தம் V_E குறைந்த மின்மறுப்பில் (Impedance) கொடுக்கின்ற மின்னோட்டமானது ஏற்புவாய்க்கு இணைக்கப்பட்டுள்ள உயர் மின்மறுப்பு மின்னழுத்த மூலம் V_C கொடுக்கும் மின்னோட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்துகிறது என்பதைக் கருத்தில் கொள்ளவேண்டும். இதனால்தான் ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தைவிடச் சிறிது குறைந்திருந்தாலும் இந்த அமைப்பில் மின்னோட்டப் பெருக்கத்தைப் பெறுவது ஏதுவாகிறது.



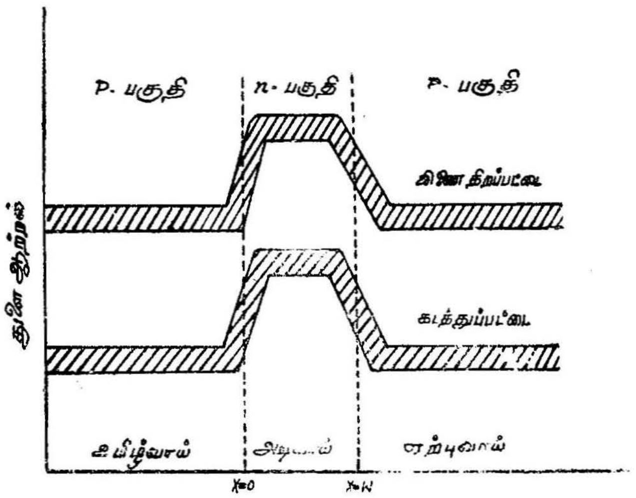
படம் 9.5
P-N-P டிரான்சிஸ்டரில் மின்னழுத்தம் முன்னோக்கிய பயாசில்

படத்தில் *P-N-P* டிரான்சிஸ்டரிலுள்ள துளைகளின் ஆற்றல் பங்கீட்டு வளைகோடு காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்தத் துளை ஆற்றல் பங்கீட்டு வளைகோட்டின் வடிவம் டிரான்சிஸ்டரின் நீளவாக்கில் மின்னழுத்தப் பங்கீடு எந்த வடிவத்தில் இருக்கிறதோ அதே வடிவத்தில் இருக்கக் காணலாம்.

எலக்ட்ரானின் ஆற்றல் பங்கீடு வளைகோட்டின் வடிவம் இதற்கு நேர்மாறாக இருக்கும். இந்த வளைகோடும் படம் 9·6-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. *P-N-P* டிரான்சிஸ்டரில் உமிழ்வாய் மின்கடத்துதிறன் மிகுந்த *P*-வகைக் குறைகடத்திப் பொருள்களாலும், அடிவாய் மின்கடத்து திறன் குறைந்த *n*-வகைக் குறைகடத்திப் பொருள்களாலும் ஆனவை. எனவேதாம் உமிழ்வாய்ச் சந்தி முன்னோக்கிய பயாசு பெற்றிருக்கும்போது உமிழ்வாய்ப் பகுதியில் ஓடும் மின்னோட்டம் பெரும்பாலும் நேர் மின்னூட்டத் துளைகளைக் கொண்டதாகவே இருக்கிறது. இந்தத் துளைகள் மெல்லிய அடிவாய்ப் பகுதிக்குள் நுழைந்து, அதைக் கடந்து ஏற்புவாய்ச் சந்தியை அடைகின்றன. இறுதியாக ஏற்புவாய்ச் சந்தியைக் கடந்து *p*-வகை ஏற்புவாய்ப் பகுதிக்குள் நுழைந்து விடுகின்றன.

இவ்வாறு பயாசு பெற்ற *P-N-P* டிரான்சிஸ்டரில் உள்ள ஆற்றல் மட்டங்கள், ஆற்றல் பட்டைகள், ஃபெர்மி மட்டங்கள், தோற்ற ஃபெர்மி மட்டங்கள் ஆகியவை அடுத்துள்ள படம்9.7-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன.

P-N-P டிரான்சிஸ்டரைக் குறிப்பிடும் குறியீட்டில் (symbol) உமிழ்வாயைக்குறிக்க ஒரு அம்புக்குறி அடிவாயை நோக்கி



படம் 9·6
துளைகளின் ஆற்றல் பங்கீடு வளைகோடு (சமநிலையில்)

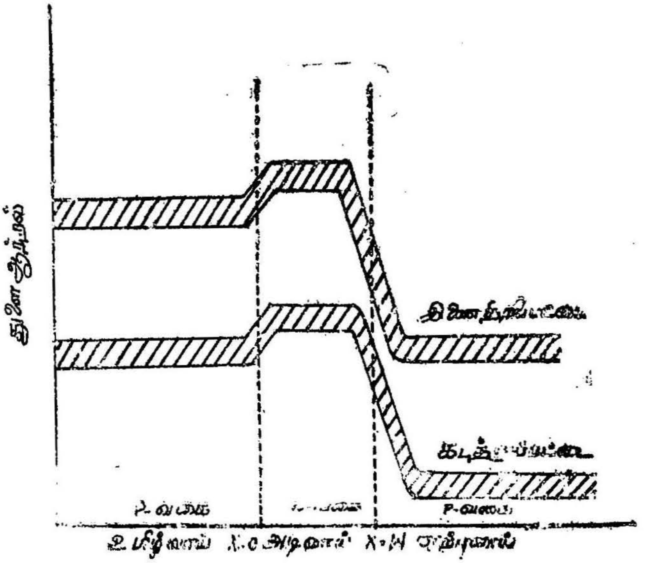
போடப்பட்டிருக்கும். இது துளை ஓடும் திசையைக் (வழக்கமான மின்னோட்டத் திசையை) குறிக்கும். ஒரு *N-P-N* டிரான் சிஸ்டரிலும் உமிழ்வாயைக்குறிக்க அம்புக்குறி போடப் பட்டுள்ளது. இந்த அம்புக்குறி அடிவாயிலிருந்து வெளிநோக்கி இருக்கும். இந்தத்திசை எலக்ட்ரான் ஓடும் திசையின் எதிர்த் திசையைக் குறிக்கிறது. அதாவது வழக்கமான மின்னோட்டத் திசையைக் குறிக்கிறது.

தற்கோள்களும், எல்லைநிபந்தனைகளும்

இந்தச் சந்தி டிரான்சிஸ்டரின் கோட்பாடுகளைக்காண, உமிழ் வாய் மின்னோட்டம், ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிட்டுப் பகுப்பாய்வு செய்யச் சிறப்பியல்புகளைப்பற்றிய சில முக்கியமான தற்கோள்களைக் கைக்கொள்ள வேண்டியுள்ளது.

அவை *P-N* சந்திக் கோட்பாட்டில் சொல்லப்பட்ட தற்கோள் களைப்போன்றதே ஆகும்.

1. டிரான்சிஸ்டரில் எல்லாப் பகுதிகளுமே மின்கடத்துதிறன் மிக்கதாக உள்ளன. இதனுல் கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தம் முழுவதும் கடக்கும் பகுதியில் வீழ்ச்சியடைகிறது. இதன் பொருள் என்னவென்ருல், மின்புலம் சுழியாக உள்ள பகுதிகளில் ஊர்திகள் ஊடுருவலால் மட்டுமே செல்லுகின்றன.



படம் 9·7
துளைகளின் ஆற்றல் பங்கீடு (பயாசிலிருக்கும்போது)

2. ஊர்திகளின் ஊடுருவல் நீளங்கள் L_p, L_n ஆகியவற்றை விடக் கடக்கும்பகுதி மிகமிகத் தடிமன் குறைந்தது. எனவே, ஊர்திகள் இந்தப்பகுதியில் ஒன்றிடுவதில்லை. இதன்வழியே மின் ஞேட்ட அளவுகள் மாருநிலையில் உள்ளன.

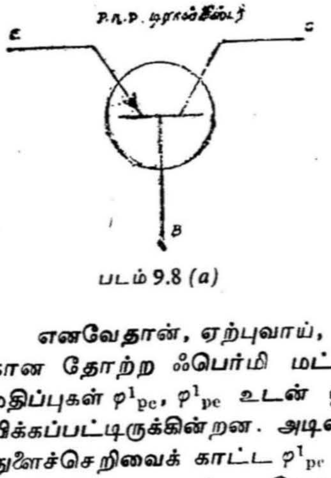
3. சிறுபான்மை ஊர்தி ஊடுருவல் நீளங்களைவிட உமிழ்வாய், ஏற்புவாய்ப் பகுதிகளின் நீளங்கள் மிகுதியாய் உள்ளன. எனவே, முனைகளில் மின் ஊர்திச்செறிவு சமநிலை மதிப்பிலிருக்கும்.

4. அடிவாய்ப் பகுதிக்குள் உட்புகுத்தப்பட்ட துளைகளின் செறிவு அங்குள்ள பெரும்பான்மை ஊர்திச் செறிவைவிடக்

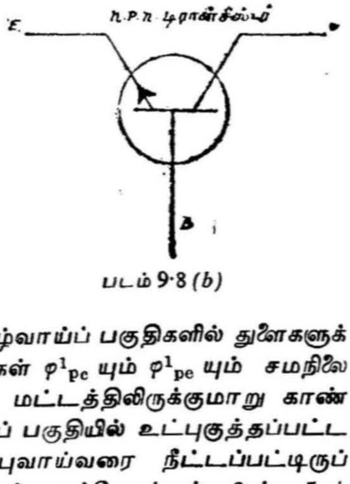
குறைவாயிருக்கும். இதனால், நகர்வு விளைவு தள்ளிவிடக்கூடிய தாய் இருக்கும்.

5. சந்திகள் படிச்சந்திகளாக இருக்கின்றன. P-வகைப் பகுதியிலிருந்து n-வகைப் பகுதிக்குத் திடீரென்று கடக்கப்படும்.

படம் 9.4-ல் நிலை மின்னழுத்தமும் ஆற்றல்பட்டையின் ஓரமும் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. கடக்கும் பகுதிக்கு இருபுறமும் மின் னழுத்தக் கோடுகள் மாறுதிருக்கக் காணலாம். மின்னழுத்தத்தின் முதல்வகைக்கெழு (First derivative) மின்புல வலிமையைத் தரு வதால் இந்த மாறு மின்னழுத்தத்தில், மின்புலவலிமை (சந்தி களுக்கு வெளியே) $E = O$. இதைத்தான் முதல் தற்கோள் குறிக் கிறது. தற்கோள்கள் 2, 3, 4 ஆகியவை படத்தில் தோற்ற ஃபெர்மி மட்டங்களின் வடிவம் ஏன் அவ்வாறு இருக்கின்றன என்பதற்கான காரணங்களைத் தருகின்றன. அடிவாய்ப் பகுதியி லுள்ள எலக்ட்ரானின் செறிவோடு ஒப்பிடப்படும்போது ஏற்பு வாய், உமிழ்வாய்ப் பகுதிகளிலுள்ள துளைகளின் செறிவு மிகுதியாய் இருப்பதால், உட்புகுத்தப்பட்ட துளைகளின் செறிவு தொடக்கத்தி லிருந்து சமநிலை மதிப்புச் செறிவுகளை மாற்றுவதில்லை.



படம் 9.8 (*a*)



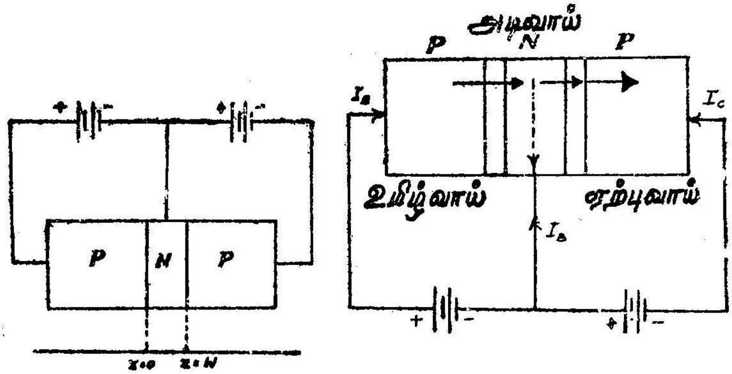
படம் 9·8 (*b*)

எனவேதான், ஏற்புவாய், உமிழ்வாய்ப் பகுதிகளில் துளைகளுக் கான தோற்ற ஃபெர்மி மட்டங்கள் φ^1_{pc} யும் φ^1_{pe} யும் சமநிலை மதிப்புகள் φ^1_{pc}, φ^1_{pe} உடன் ஒரே மட்டத்திலிருக்குமாறு காண் பிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அடிவாய்ப் பகுதியில் உட்புகுத்தப்பட்ட துளைச்செறிவைக் காட்ட φ^1_{pc} ஏற்புவாய்வரை நீட்டப்பட்டிருப் பதைக் காணலாம். இதைத்தான் தற்கோள்கள் 2-ம், 5-ம் கூறுகின்றன.

ஓரளவுக்கு எலக்ட்ரான் - துளை ஒன்றிப்பு இருந்திருந்தால் φ^1_{pc} ஏற்புவாய்நோக்கிச் சற்று சரிவாய் இருக்கும். ஏற்புவாய்ச் சந்தியில்

φ^1_{pb} கடக்கும் பகுதிக்குள்ளேயே φ^1_{pc} மட்டத்திற்கு விழுந்துவிடு வதைக் காணலாம். இந்தப் பயாசு நிலைகளில் எலக்ட்ரான் ஏற்பு வாயிலிருந்து அடிவாய்க்கும், அடிவாயிலிருந்து உமிழ்வாய்க்கும் ஓடும். இந்த எலக்ட்ரான்கள்கூட துளைகளுடன் ஒன்றிவிடக்கூடும். ஆதலால், எலக்ட்ரான்களுக்கான தோற்ற ஃபெர்மி மட்டம் φ^1_{ne}, φ^1_{nc} ஆகியவை சமநிலைமட்டத்திற்குக் குறைந்திருப்ப தாகக் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது தற்கோள் 3-ல் கூறப்பட் டுள்ளது.

படம் 9·9 ல் ஒரு *P-N-P* டிரான்சிஸ்டரின் பயாசு அமைப்பு களும், அதனுள்ளே ஓடும் துளை, எலக்ட்ரான் மின்னோட்டங்களும் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன.



படம் 9.9
P-N-P டிரான்சிஸ்டரின் பயாசு அமைப்பும் மின்னோட்டங்களும்

உமிழ்வாய் மின்னோட்டச் செறிவு J_E, உமிழ்வாய்ச் சந்தியில் $X = 0$ எனவும் ஏற்புவாய்ச் சந்தியில் $X = W$ எனவும் கொண்டால், அடிவாய்ப் பகுதியின் தடிமன் W - என்றாகும். n-வகை அடிவாய்ப் பகுதியில் துளைகளின் செறிவைப்பெற, n-பகுதியில் தொடர்ச்சிச் சமன்பாட்டுக்குத் தீர்வுகாணவேண்டும். தீர்வில் வரம்பு நிபந்தனை களைப் பொருத்தினால், துளைச்செறிவு கிடைத்துவிடும்.

$$J_p = -qD_p \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$J_n = qD_n \frac{\partial n}{\partial x}$$

ஒரு பரிமாணத்தில் தொடர்ச்சிச் சமன்பாடுகள் கீழ்க்கண்டவாறு இருக்கும்.

$$D_p \frac{d^2 p}{dx^2} - \frac{P - p_n}{T_p} = \frac{dp}{dt}$$

$$D_n \cdot \frac{d^2 n}{dx^2} - \frac{n - n_p}{T_n} = \frac{dn}{dt}$$

இவற்றை n-வகைப்பகுதியில் துளைகளுக்கேற்றவாறு திருத்தி

எழுதினுல், (d.c மின்னழுத்தத்தில் $\frac{dp}{dt} = o$)

$$\frac{d^2 X}{dx^2} = \frac{P - P_{nb}}{L_{pb}^2} \quad \ldots 9 \cdot 10$$

P-என்பது அடிவாய்ப்பகுதியில் ஏற்புவாய்ச் சந்தியிலிருந்து x-தொலேவில் துளேச்செறிவு.

P_{nb}—என்பது n-வகை அடிவாய்ப்பகுதியில் துளேகளின் சமநிலேச் செறிவு.

L_p-என்பது n-வகை அடிவாய்ப்பகுதியில் ஊடுருவல் நீளம். $D_p T_p = L_p^2$ என்று பதிலீடு செய்யப்பட்டுள்ளது.
இதற்கான பொதுத்தீர்வு,

$$P - P_{nb} = A e^{-x/L_p} + B e^{x/L_p} \quad \ldots 9 \cdot 11$$

இதிலுள்ள A, B-மாறிலிகளே வரம்பு நிபந்தனேயைக்கொண்டு கண்டுபிடிக்கவேண்டும். வரம்பு நிபந்தனேகளாவன :

1. உமிழ்வாய்ச் சந்தியில் $x = o$; P_1—துளேகளின் எண்ணிக்கை.

$$P_1 = P - P_{nb} = P_{nb}\left[e^{qV_E/KT} - 1 \right] \quad \ldots 9 \cdot 11a$$

P_1-உமிழ்வாய்ப் பகுதியிலிருந்து அடிவாய்ப் பகுதிக்கு உட்புகுத்தப் பட்ட துளேகளேத் தரும். V_E - என்பது உமிழ்வாய்ச் சந்தியின் முன்ஞேக்கிய பயாசு ஆகும்.

2. ஏற்புவாய்ச் சந்தியில் $x = W$ P_2—துளைகளின் எண்ணிக்கை.

$$P_2 = P - P_{nb} = P_{nb}\left[e^{qV_c/KT} - 1 \right] \qquad \ldots 9\cdot 11b$$

P_2-ஏற்புவாயிலிருந்து அடிவாய்ப்பகுதிக்கு உட்புகுத்தப்பட்ட துளைகளைத்தரும். V_c-என்பது ஏற்புவாயின் திருப்பிய பாயசு ஆகும். சமன்பாடு 9·11-ல் இந்த வரம்பு நிபந்தனைகளைப் பதிலீடு செய்ய,

$$P_1 = A + B \qquad \ldots 9\cdot 12$$

$$P_2 = A\, e^{-W/L_p} + B\, e^{W/L_p} \qquad \ldots 9\cdot 13$$

சமன்பாடு 9·12, 9·13 இரண்டையும் பயன்படுத்தி A-B, ஆகிய வற்றின் மதிப்பைக் காண,

$$A = \frac{P_1\, e^{W/L_p}}{2\, Sinh\left(\frac{W}{L_p}\right)} - \frac{P_2}{2\, Sinh\left(\frac{W}{L_p}\right)} \qquad \ldots 9\cdot 14$$

$$B = \frac{P_1\, e^{W/L_p}}{2\, Sinh\left(\frac{W}{L_p}\right)} + \frac{P_2}{2\, Sinh\left(\frac{W}{L_p}\right)} \qquad \ldots 915$$

A, B ஆகியவற்றின் மதிப்புகளைச் சமன்பாடு 11-ல் பதிலீடு செய்ய,

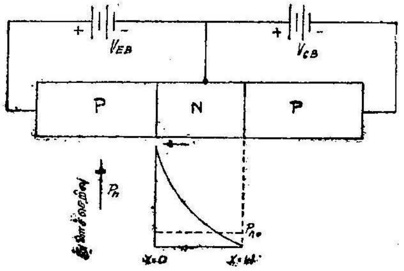
$$P - P_{nb} = P\frac{Sinh\left(\frac{W-x}{L_p}\right)}{Sinh\left(\frac{W}{L_p}\right)} + P_2\frac{Sinh\left(\frac{x}{L_p}\right)}{Sinh\left(\frac{W}{L_p}\right)} \qquad \ldots 9\cdot 16$$

இந்தச் சமன்பாடு 9·16-தான் உட்புகுத்தப்பட்ட துளைச் செறிவைத் தருகிறது. இதைப் படம் 9·10 காட்டுகிறது.

உமிழ்வாய்ச் சந்தியிலிருந்து x-தொலைவில் உள்ள துளை மின்னோட்டச் செறிவு J_{px} இதிலிருந்து கணக்கிடலாம்.

$$J_{px} = -q\, D_p \cdot \frac{dp}{dx}$$

$$= q\,\frac{D_p}{L_p}\left[P_1\,\frac{Cosh\left(\frac{w-x}{L_p}\right)}{Sinh\left(\frac{W}{L_p}\right)} - P_2\,\frac{Cosh\left(\frac{x}{L_p}\right)}{Sinh\left(\frac{W}{L_p}\right)}\right]$$



படம் 9·10
உட்புகுத்தப்பட்ட துளைச்செறிவு

உமிழ்வாய்ச் சந்திக்கு இடதுபுறமாக, உமிழ்வாய்ப்பகுதியில் துளை மின்னோட்டச் செறிவை $x = o$ என்று பதிலீடுசெய்து கணக்கிடலாம்.

$$\left[J_{px}\right]_{x=o} = J_{pE} = \frac{q\,D_p}{L_p}$$

$$\left[P_1\, Coth\left(\frac{W}{L_p}\right) - P_2\, Cosech\left(\frac{W}{L_p}\right)\right] \quad \ldots\ 9\cdot17$$

அடிவாய்ப் பகுதிக்கு வலதுபுறமாகத் துளை மின்னோட்டச்செறிவு $x = w$ எனப் பதிலீடுசெய்யக் கிடைக்கும்.

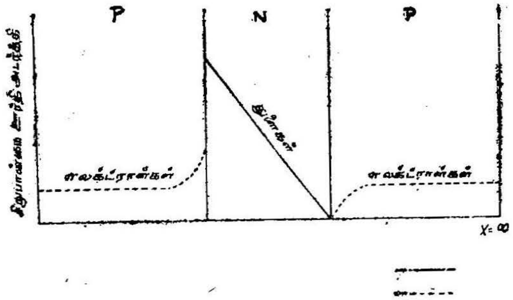
$$\left[J_{px}\right]_{x=w} = J_{pC} = \frac{q\,D_p}{L_p}$$

$$\left[P_1\, Cosech\left(\frac{W}{L_p}\right) - P_2\, Coth\left(\frac{W}{L_p}\right)\right] \quad \ldots\ 9\cdot18$$

P_1, P_2 ஆகியவற்றிற்கு மதிப்புகளைச் சமன்பாடு $9\cdot11a$, $9\cdot11b$. ஆகியவற்றிலிருந்து கணக்கிட்டுக்கொள்ளலாம். J_{pE}, J_{pC}-ஆகிய இரு மின்னோட்டங்களுக்கான சமன்பாடுகளில் இரு கூறுகள் இருக்கக் காணலாம்.

1. முதல் கூறு, உமிழ்வாய்ச் சந்தி V_E மின்னழுத்தத்தில். முன்னோக்கிய பயாசிலிருக்கும்போது உமிழ்வாய்ப் பகுதியிலிருந்து அடிவாய்ப்பகுதிக்கு உட்செலுத்தப்படும் துளைகளால் தோன்றும் மின்னோட்டம்.

2. இரண்டாவது கூறு, ஏற்புச் சந்திக்குக் கொடுக்கப்பட்ட திருப்பிய பயாசு V_C-யினுல் துளை மின்னேட்டத்தில் தோற்று விக்கப்படும் மாறுபாடுகள்.



படம் 9·11

உட்புகுத்தப்பட்ட துளைச்செறிவும் எலக்ட்ரான்களும்

இதுவரை துளைகளினுல் மட்டுமே ஏற்புவாய், உமிழ்வாய்ப் பகுதிகளில் ஓடும் மின்னேட்டச் செறிவு கணக்கிடப்பட்டது.

இப் பகுதிகளில் உள்ள மின்னேட்டம் இந்தத் துளைகளினுல் மட்டும் தோன்றுவதன்று. எலக்ட்ரான்களும் எதிர்த்திசையில் ஓடுகின்றன. இவற்றுல் தோன்றும் மின்னேட்டச் செறிவைக் கணக்கிடலாம். (*a*) *p*-வகை உமிழ்வாய்ப் பகுதிக்குள், அடிவாய்ப் பகுதியிலிருந்து உமிழ்வாய்ச் சந்தி வழியே உட்புகுத்தப்படும் எலக்ட்ரான்கள், (*b*). இதேபோன்று ஏற்புவாய்ச் சந்தியில் அடிவாய்ப் பகுதியிலிருந்து *p*-வகை ஏற்புவாய்க்கு ஊடுருவிச் செல்லும் எலக்ட்ரான்கள் ஆகியவற்றுல் இந்த எலக்ட்ரான் மின்னேட்டச் செறிவு தோற்றுவிக்கப்படும். இந்த எலக்ட்ரான் மின்னேட்டச் செறிவை எலக்ட்ரானுக்கான தொடர்ச்சிச் சமன்பாட்டுக்குத் தீர்வுகண்டு கணக்கிடலாம். இதைத் தீர்வுகாணும்போது கீழ்க்கண்ட நிபந்தனைகளைக் கருத்தில் கொள்ளவேண்டும்.

(*i*) உமிழ்வாய்ப் பகுதியின் நீளமானது *p*-வகைப் பகுதியில் எலக்ட்ரானின் ஊடுருவல் நீளத்தைவிட மிகுதியாக உள்ளது *n*-வகை அடிப்பகுதியிலிருந்து *p*-வகை உமிழ்வாய்க்கு உட்புகுத்தப்படும் எலக்ட்ரான்களின் குறைவு ஒன்றிப்பினுல் மட்டுமே தீர்மானிக்கப்படுகிறது.

(ii) உமிழ்வாய்ப் பகுதியில் மின்புலம் ஏறத்தாழச் சுழியாக இருக்கும். கொடுக்கப்பட்ட பயாசு முழுவதும் உமிழ்வாய்ச் சந்தியில்தான் வீழ்ச்சியடைகிறது.

p-வகை உமிழ்வாய்ப் பகுதியில் எலக்ட்ரான்களுக்கான தொடர்ச்சிச் சமன்பாடு,

$$\frac{d^2n}{dx^2} - \frac{n - n_p}{L_n} = 0 \quad \ldots 9{\cdot}19$$

n-அடிவாய்ச் சந்தியிலிருந்து $-x$ தொலைவில் உட்புகுத்தப் பட்ட எலக்ட்ரானின் செறிவு.

L_n-P-பகுதியில் எலக்ட்ரானின் ஊடுருவல் நீளம்.

n_p-P-வகை உமிழ்வாய்ப் பகுதியில் எலக்ட்ரானின் சமநிலைச் செறிவு.

இதற்கான பொதுத் தீர்வு,

$$n - n_p = C.\, e^{(-x/L_n)} + D.\, e^{(x/L_n)} \quad \ldots 9{\cdot}20$$

C, D-ஆகிய இரண்டும் வரம்பு நிபந்தனைகளைக்கொண்டு கண்டு பிடிக்கப்படவேண்டிய மாறிலிகள்.

வரம்பு நிபந்தனைகள்

1. $-x$ முடிவிலா மதிப்பைக் (Infinite value) கொண்டிருக்கும் போது, $n - Pn_p = 0$ (உட்புகுத்தப்பட்ட எலக்ட்ரானின் செறிவு சுழியாகும்).

2. $x = 0$ ஆக (உமிழ்வாய்ச் சந்தியில்) இருக்கும்போது,

$$n - n_p = P_3 = n_p \left[e^{qV_E/KT} - 1 \right] \quad \ldots 9{\cdot}21$$

V_E-என்பது உமிழ்வாய்ச் சந்தியிலுள்ள மின்னழுத்தம். நிபந்தனைகளைப் பயன்படுத்தினால்,

$$n - n_p = n_p \left[e^{qV_E/KT} - 1 \right] \cdot e^{(x/L_n)} \quad \ldots 9{\cdot}22$$

எனவே, ஊடுருவல் மூலம் அடிவாய்ப் பகுதியிலிருந்து உமிழ்வாய்ப் பகுதிக்குச் செல்லும் எலக்ட்ரான்களினுல் (உமிழ்வாய்ச் சந்தியிலிருந்து $-x$ தொலேவில்) தோன்றும் மின்னேட்டச் செறிவு,

$$J_{nx} = q\, D_n \frac{dn_p}{dx}$$

$$= q \frac{D_n\, n_p}{L_n} \left[e^{q V_E/KT} - 1 \right] . e^{x/L_n} \quad \ldots\ 9{\cdot}23$$

எலக்ட்ரான்கள் வலதுபுறத்திலிருந்து இடதுபுறமாகச் செல்கின்றன. வழக்கமான மின்னேட்டத் திசை இதற்கு எதிரான (இடதுபுறமிருந்து வலதுபுறமாக) திசையாகும்.

உமிழ்வாய்ச் சந்தியில் மின்னேட்டச்செறிவு J_{nE}-ஐப் பெறச் சமன்பாடு 23-ல் $x = o$ ஆக்கவேண்டும்.

$$\left(J_{nx} \right)_{x\,=\,o} = J_{nE} = q \frac{D_n\, n_p}{L_n} \left[e^{q V_E / KT} - 1 \right] \ldots\ 9{\cdot}24$$

J_{pE}, J_{nE}- இரண்டுமே உமிழ்வாய்ச் சந்தியைக் கடந்து வலதுபுறமிருந்து இடதுபுறமாக ஓடும்,

இதேபோன்று ஏற்புவாய்ச் சந்தியில் ஊடுருவிச்செல்லும் எலக்ட்ரான்களினுல் தோன்றும் மின்னேட்டச் செறிவுக்கான கோவையைப் பெறலாம்.

$$J_{nC} = -\, q \frac{D_n\, n_p^1}{L_n^1} \left[e^{q V_C / KT} - 1 \right] \ldots\ 9{\cdot}25$$

n_p^1—என்பது p-வகை ஏற்புவாய்ப் பகுதியில் எலக்ட்ரானின் சமநிலே அடர்த்தி.

L_n^1—என்பது p-வகை ஏற்புவாய்ப் பகுதியில் எலக்ட்ரானின் ஊடுருவல் நீளம்.

உமிழ்வாய் மின்னேட்டம், ஏற்புவாய் மின்னேட்டம் ஆகியவற்றிற்கான கோவைகள்

ஒரு குறிப்பிட்ட சந்தியில் துளே மின்னேட்டச்செறிவு, எலக்ட்ரான் மின்னேட்டச்செறிவு ஆகியவற்றிற்கான கோவை

களைக் கண்டபிறகு, ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் I_c, உமிழ்வாய் மின்னோட்டம்-I_E ஆகியவற்றிற்கான கோவைகளைப் பெறலாம். மொத்த மின்னோட்டச் செறிவுகள்,

$$J_E = J_{pE} + J_{nE} \qquad \ldots 9.26$$

$$J_c = J_{pc} + J_{nc} \qquad \ldots 9.27$$

A-என்பது டிரான்சிஸ்டரின் குறுக்குப்பரப்பு ஆனால்,

$$I_E = A\,J_E = A\,(J_{pE} + J_{nE}) \text{ ஆகும்.}$$

J_{pE}, J_{nE} ஆகியவற்றிற்கான மதிப்புகளைச் சமன்பாடுகள் 9.17, 9.24-ஆகியவற்றிலிருந்து பதிலீடு செய்ய,

$$I_E = \frac{qAD_p}{L_p}\left[P_1 \coth\left(\frac{W}{L_p}\right) - P_2 \operatorname{cosech}\left(\frac{W}{L_p}\right)\right] + \frac{qAD_n}{L_n}\left[e^{qV_E/KT} - 1\right] \qquad \ldots 9.28$$

P_1, P_2 -களுக்குச் சமன்பாடு 9.11.(a), 9.11.(b) களிலிருந்து பதிலீடு செய்ய,

$$I_E = \frac{qD_p P_{nb} A}{L_p}\left[\left(e^{qV_E/KT} - 1\right) \coth\left(\frac{W}{L_p}\right)\right] - \frac{qD_p P_{nb} A}{L_p}\left[\left(e^{qV_c/KT} - 1\right) \operatorname{cosech}\left(\frac{W}{L_p}\right)\right] + \frac{qD_n A n_p}{L_n}\left(e^{qV_E/KT} - 1\right) \qquad \ldots 9.29$$

இதே போன்று ஏற்புவாய் மின்னோட்டம்,

$$I_c = A\,J_c = A\,(J_{pc} + J_{nc})$$

J_{pc}, J_{nc} - ஆகியவற்றிற்கான மதிப்புகளைச் சமன்பாடுகள் 9·18, 9·25 - இவற்றிலிருந்து பதிலீடு செய்ய,

$$I_c = \frac{qD_p}{L_p} A\left[P_1 \, cosch\left(\frac{W}{L_p}\right) - P_2 \, coth\left(\frac{W}{L_p}\right)\right] -$$

$$\frac{qD_n n_p^1 A}{L_n^1}\left[e^{\,qV_c/KT} - 1\right] \quad \dots 9.30$$

P_1, P_2 களுக்குச் சமன்பாடுகள் 9.11.(*a*), 9.11.(*b*)-யிலிருந்து பதிலீடு செய்ய,

$$I_c = \frac{qD_p P_{nb} A}{L_p}\left[\left(e^{\,qV_E/KT} - 1\right) cosech\left(\frac{W}{L_p}\right)\right] -$$

$$\frac{qD_p P_{nb} A}{L_p}\left[\left(e^{\,qV_c/KT} - 1\right) coth\left(\frac{W}{L_p}\right)\right] -$$

$$\frac{qD_n n_p^1 A}{L_u^1}\left[e^{\,qV_c/KT} - 1\right] \quad \dots 9.31$$

சமன்பாடுகள் 9.29-ம் 9.31-ம், முறையே உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தையும், ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தையும் தருகின்றன.

அடிவாய்ப் பகுதியில் மின்னோட்டம் I_B-ஐ,

$$I_B = I_E - I_c$$

என்ற சமன்பாட்டைக்கொண்டு கணக்கிடலாம்.

$$I_B = \frac{qD_p P_n A}{L_p}\left[\left(e^{\,qV_E/KT} - 1\right)\right.$$

$$\left.\left\{cosech\left(\frac{W}{L_p}\right) - coth\left(\frac{W}{L_p}\right) - \frac{D_n n_p L_p}{D_p P_n L_n}\right\}\right] -$$

$$\frac{qD_p P_n A}{L_p}\left[\left(e^{\,qV_c/KT} - 1\right)\right.$$

$$\left.\left\{coth\left(\frac{W}{L_p}\right) - cosech\left(\frac{W}{L_p}\right) + \frac{D_n n_p^1 L_p}{D_p P_n L_n^1}\right\}\right] \quad \dots 9.32$$

அறை வெப்பநிலையில் டிரான்சிஸ்டர் இயல்பாகச் செயற்படும் போது V_E = 0.1 வோல்ட்டிலிருந்து 0.3 வோல்ட்வரை இருக்கும். V_c = 10 வோல்ட்வரை இருக்கலாம். $\frac{KT}{q}$ = 0.026 வோல்ட்டாக இருக்கும். எனவே,

$$e^{qV_E/KT} \gg 1 \text{ ஆகவும்,}$$

$$e^{qV_c/KT} \simeq 0 \text{ ஆகவும் மதிப்புக்கொள்ளலாம்.}$$

எனவே, இந்தத் தோராயங்களைச் சமன்பாடு 9.29, 9.31 இவைகளில் பொருத்தி மின்னோட்டங்களின் தோராய மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

$$I_E = a_{11}\left[e^{qV_E/KT} - 1\right] + a_{12} \quad \ldots 9.33$$

$$I_c = a_{21}\left[e^{qV_E/KT} - 1\right] + a_{22} \quad \ldots 9.34$$

சமன்பாடு 9.33, 9.34 — இவற்றிலிருந்து, $\left(e^{qV_E/KT} - 1\right)$ஐ தருவித்துத் தீர்வு காண,

$$I_c = \frac{a_{21}}{a_{11}} + \frac{a_{12}\, a_{21}}{a_{11}} - a_{22} \quad \ldots 9.35$$

a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22} — ஆகியவற்றின் மதிப்புகள்:-

$$a_{11} = \frac{qD_pP_nA}{L_p}\left[\coth\left(\frac{W}{L_p}\right) + \frac{D_nL_pn_p}{D_pL_nP_n}\right]$$

$$a_{12} = \frac{q\,D_p\,P_n\,A}{L_p}\left[\operatorname{cosech}\left(\frac{W}{L_p}\right)\right]$$

$$a_{21} = -\frac{q\,D_p\,P_n\,A}{L_p}\left[\operatorname{cosech}\left(\frac{W}{L_p}\right)\right]$$

$$a_{22} = -\frac{q\,D_p\,P_n\,A}{L_p}\left[\coth\left(\frac{W}{L_p}\right) + \frac{D_n\,n_p^1\,L_p}{D_p\,P_u\,L_n^1}\right]$$

மின்னோட்டப் பெருக்கம், ஏற்புவாய் திறம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடல்

மின்னோட்டப்பெருக்கம் என்பது ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தில் ஏற்படும் மாற்றத்திற்கும் உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தில் ஏற்படும் மாற்றத்திற்கும் உள்ள தகவு என்று வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது.

$$\alpha = \frac{\partial I_c}{\partial I_E}$$

$$\partial I_c = \alpha . \partial I_E \qquad \dots 9 \cdot 36$$

இதைச் சமன்பாடு 35 - உடன் ஒப்பிட,

$$\alpha = \frac{a_{21}}{a_{22}} = \frac{Cosech\left(\frac{W}{L_p}\right)}{\left[Coth\left(\frac{W}{L_p}\right) + \frac{D_n n_p L_p}{D_p P_n L_n}\right]} \qquad . 9 \cdot 37$$

$$Cosech\left(\frac{W}{L_p}\right) = Coth\left(\frac{W}{L_p}\right) Sech\left(\frac{W}{L_p}\right)$$ ஆகும்.

எனவே,

$$\alpha = \frac{Coth\left(\frac{W}{L_p}\right) Sech\left(\frac{W}{L_p}\right)}{Coth\left(\frac{W}{L_p}\right) + \frac{D_n n_p L_p}{D_p P_n L_n}}$$

$$\alpha = \frac{Sech\left(\frac{W}{L_p}\right)}{1 + \frac{D_n n_p L_p}{D_p P_n L_n} tanh\left(\frac{W}{L_p}\right)} \qquad \dots 9 \cdot 38$$

உமிழ்வாய்த் திறம் -γ, உமிழ்வாய்த் திறத்தின் வரையறைப்படி,

$$\gamma = \frac{\text{உமிழ்வாய் துளைமின்னோட்டத்தில் மாற்றம்}}{\text{மொத்த உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தில் மாற்றம்}}$$

$$= \frac{\partial I_{pE}}{\partial I_E} = \frac{\partial I_{pE}}{\partial [I_{pE} + I_{nE}]}$$

A-என்பது டிரான்சிஸ்டரின் குறுக்குப் பரப்பு ஆகையால்,

$$\gamma = \frac{\partial (AJ_{pE})}{\partial (AJ_{pE}) + \partial (AJ_{nE})} = \frac{\partial J_{pE}}{\partial J_{pE} + \partial J_{nE}} \qquad \dots 9 \cdot 39$$

சமன்பாடுகள் 9·17, 9·24 - இவற்றிலிருந்து பதிலீடு செய்ய,

$$\gamma = \frac{\frac{qD_p}{L_p}\left[P_1 \coth\left(\frac{W}{L_p}\right) - P_2 \operatorname{cosech}\left(\frac{W}{L_p}\right)\right]}{\frac{qD_p}{L_p}\left[P_1 \coth\left(\frac{W}{L_p}\right) - P_2 \operatorname{cosech}\left(\frac{W}{L_p}\right)\right] + \frac{qD_n n_p}{L_n}\left(e^{qV_E/KT} - 1\right)}$$

$$\gamma = \frac{\frac{qD_pP_n}{L_p}\left[(e^{qV_E/KT} - 1)\coth\left(\frac{W}{L_p}\right) - (e^{qV_c/KT} - 1)\operatorname{cosech}\left(\frac{W}{L_p}\right)\right]}{\frac{qD_pP_n}{L_p}\left[(e^{qV_E/KT} - 1)\coth\left(\frac{W}{L_p}\right) - (e^{qV_c/KT} - 1)\operatorname{cosech}\left(\frac{W}{L_p}\right)\right] + \frac{qD_n n_p}{L_n}\left[e^{qV_e/KT} - 1\right]}$$

டிரான்சிஸ்டர் இயல்பாகச் செயற்படும்போது,

$$e^{qV_E/KT} \gg 1; \quad e^{-qV_c/KT} \simeq O$$

$$\therefore \gamma = \frac{\coth\left(\frac{W}{L_p}\right)}{\coth\left(\frac{W}{L_p}\right) + \frac{D_n n_p L_p}{D_p P_n L_n}} \qquad 9{\cdot}40$$

ஒரு டிரான்சிஸ்டர் எப்போதும், $L_p \gg W$ (அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலம்).

$$\therefore \coth\left(\frac{W}{L_p}\right) \simeq \frac{L_p}{W}$$

எனவே, உமிழ்வாய்த்திறம்,

$$\gamma = \frac{\frac{L_p}{W}}{\frac{L_p}{W} + \frac{D_n n_p L_p}{D_p P_n L_n}} = \frac{1}{1 + \frac{D_n n_p W}{D_p P_n L_n}}$$

$$\gamma = \left[1 + \frac{D_n n_p W}{DP_n L_n}\right]^{-1}$$

$$\gamma = -1 \frac{D_n n_p W}{D_p P_n L_n} \quad \text{ஏறத்தாழ} \qquad \ldots 9{\cdot}41$$

$L_n \gg W$ ஆகையால்,

$$\gamma = 1 - \frac{\sigma_n W}{\sigma_p L_n}$$

அல்லது,

$$\gamma = 1 - \frac{P_p W}{P_n L_n} \qquad \ldots 9{\cdot}37$$

σ_n-என்பது P-N-P டிரான்சிஸ்டரில் n-வகை அடிப்பகுதியின் மின் கடத்துதிறன்.

σ_p - என்பது P-வகை உமிழ்வாயின் மின்கடத்துதிறன். இந்தச் சமன்பாடுதான் ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் உமிழ்வாய்த்திறத்தைக் கணக்கிடப் பயன்படுத்தப்படும் சமன்பாடு ஆகும். இதையே மின் தடை எண்களிலும் சொல்லலாம்.

P_p-என்பது P-வகை உமிழ்வாய்ப்பகுதியின் தடை எண்.

P_n-என்பது n-வகை அடிவாய்ப் பகுதியின் தடை எண்.

$\frac{\sigma_n}{\sigma_p}$-எவ்வளவுக்கெவ்வளவு குறைவாக இருக்கிறதோ, அவ்வளவுக் கவ்வளவு γ-ன் மதிப்பு 1-ன் மதிப்பை அடையும். மேலும் உமிழ் வாய்ப் பகுதியில் உள்ள சிறுபான்மை ஊர்திகளின் வாழ்வு நேரம் எவ்வளவு முடியுமோ அவ்வளவு அதிகமாக இருக்கவேண்டும். முக் கியமாக அடிவாய்ப் பகுதியிலிருந்து முன்னேக்கிய பயாசு எலக்ட் ரான் மின்னேட்டத்தைப் பெருமளவு குறைக்கவேண்டும்.

நல்ல தரமிக்க டிரான்சிஸ்டர்களில் γ-ஏறத்தாழ ஒன்றுக்கு அருகில் இருக்குமாறு செய்யப்பட்டாலும் மின்னேட்டப் பெருக்கம் α-ன் மீது அதன் விளைவைத் தள்ளிவிட முடியாது. குறிப்பாக, உயர்மின்னேட்டங்களில் γ-ல் ஏற்படும் மாற்றம் குறிப்பிடத்தக்க தாக அமைந்து மின்னேட்டப்பெருக்கச் சிறப்பியல்புகளில் இது பெரும்பங்கு வகிக்கிறது.

அடிவாய்ப் பகுதியின் இடப்பெயர்ச்சி எண்

அடிவாய்ப்பகுதியின் இடப்பெயர்ச்சி எண் கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$\beta^* = \frac{\text{ஏற்புவாய் துளைமின்னோட்டத்தில் தோன்றும் மாற்றம்}}{\text{உமிழ்வாய் துளைமின்னோட்டத்தில் தோன்றும் மாற்றம்}}$$

$$\beta^* = \frac{\partial\ I_{pc}}{\partial\ I_{pE}}$$

உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தின் துளைக்கூறு 0-விலிருந்து I_{pE}-வரை மாற்றப்படுவதாகவும், இதேபோல், ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தின் துளைக்கூறு 0-விலிருந்து I_{pc}-வரை மாற்றப்படுவதாகவும் கொள்வோம்.

$$\beta^* = \frac{I_{pc}}{I_{pE}} = \frac{A.\ J_{pc}}{A.\ J_{pE}} = \frac{J_{pc}}{J_{pe}}$$

A-என்பது டிரான்சிஸ்டரின் குறுக்குவெட்டுப்பரப்பு.

J_{pc}-ஏற்புவாய் மின்னோட்டச் செறிவின் துளைக்கூறு

J_{pE}- உமிழ்வாய் மின்னோட்டச் செறிவின் துளைக்கூறு.

J_{pE}, J_{pE}- ஆகியவற்றிற்குச் சமன்பாடுகள் 9.17, 9.18 - ஆகியவற்றிலிருந்து பதிலீடுசெய்ய,

$$\beta^* = \frac{\frac{qD_p}{L_p}\left[P_1\ coth\ \left(\frac{W}{L_p}\right) - P_2\ cosech\left(\frac{W}{L_p}\right)\right]}{\frac{qD_p}{L_p}\left[P_1\ cosech\left(\frac{W}{L_p}\right) - P_2\ coth\left(\frac{W}{L_p}\right)\right]}$$

இயல்பான செயல்முறையில் உமிழ்வாய் முன்னோக்கிய பயாசு பெற்றிருக்கும், ஏற்புவாய் திருப்பிய பயாசு பெற்றிருக்கும். எனவே, $P_1 \gg P_2$. P_2-மதிப்பை தள்ளிவிடும் அளவுக்கு அது சிறியதாக அமையும்.

$$\therefore\ ^*\beta = \frac{coth\left(\frac{W}{L_p}\right)}{cosech\left(\frac{W}{L_p}\right)} = \frac{1}{cosh\left(\frac{W}{L_p}\right)} = Sech\left(\frac{W}{L_p}\right)$$

$$\beta = sech\left(\frac{W}{L_p}\right) \qquad \ldots 9{\cdot}44$$

W-என்பது அடிவாயின் அகலம்; L_p-என்பது அடிவாய்ப் பகுதியில் துளை ஊடுருவல் நீளம்; α-ன் வரையறையிலிருந்து ஏற்புவாய்ச் சந்தியில் மின்னோட்டமாகத்தோன்றும் உட்புகுத்தப்பட்ட துளை மின்னோட்டத்தைத்தான் β^*-குறிக்கிறது என்பது தெளிவாகிறது. ஒருவகையில்பார்த்தால், அடிவாய்ப்பகுதியில் ஒன்றிப்பு இல்லாமல் துளை மின் ஊர்தி ஏற்புவாயைப் போய்ச்சேரும் வாய்ப்பைக் குறிக்கிறது என்றும் கொள்ளலாம். எனவேதான் β^*-'அடிவாய் இடப் பெயர்ச்சி எண்' **(Base Transport factor)** எனப்படுகிறது.

L_p-யுடன் ஒப்பிடும்போது W-குறைவாக இருந்தால்தான் β^* ஒன்றின் மதிப்பைநோக்கிச் செல்லும் என்று தெரிகிறது. $L_p = \sqrt{D_p T_p}$ ஆகையால் சிறுபான்மை ஊர்திகளின் வாழ்வு நேரம் அடிவாய்ப் பகுதியில் முடிந்தவரை அதிகமாயிருக்க வேண்டுமென்று கூறப்பட்டது. மீண்டும்,

$$\beta^* = Sech \frac{W}{L_p}$$

$$= \frac{2}{e^{W/L_p} + e^{-W/L_p}}$$

$$e^{W/L_p} = 1 + \frac{W}{L_p} + \frac{W^2}{2 L_p^2} + \quad \dots$$

$$e^{-W/L_p} = 1 - \frac{W}{L_p} + \frac{W^2}{2 L_p^2} - \quad \dots$$

$L_p \gg W$ ஆகையால், $\frac{W^2}{L_p^2}$ மேலுள்ளவற்றை விட்டுவிடலாம்.

$$\beta^* = 1 - \tfrac{1}{2}\left(\frac{W}{L_p}\right)^2 \qquad \dots \quad 9{\cdot}45$$

அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலம் குறையக் குறைய β^*-ன் மதிப்பு மிகுதியாகும். ஏனெனில் அப்போதுதான் அடிவாய்ப் பகுதியில் ஊடுருவிவந்து துளைகளில் மிகச்சில மட்டுமே ஒன்றிப்பினால் இழக்கப்படும். எடுத்துக்காட்டாக, ஜெர்மேனியத்தில் T_p-வாழ்வுநேரம் 50 மைக்ரோ வினாடி எனக் கொள்வோம்.

$L_p = 0 \cdot 05$ செ.மீ. $\beta^* = 0 \cdot 99$ இருக்கவேண்டுமானால் $W = 0 \cdot 009$ செ.மீ. இருக்கவேண்டும். நடைமுறையில் தயாரிக்கப் படும் டிரான்சிஸ்டர்களில் L_p ஆனது W-வைப்போல் 3 அல்லது 4 மடங்கு அதிகமாக இருக்கும்படி அமைக்கப்படுகிறது.

இப்போது γ, β^*, α-ஆகியவற்றிடையே தொடர்பைக் காண லாம். சமன்பாடு 40, 45 இவற்றிலிருந்து,

$$\gamma \beta^* = \frac{\text{Coth} \dfrac{W}{L_p}}{\text{Coth}\left(\dfrac{W}{L_p}\right) + \dfrac{D_n n_p L_p}{D_p P_n L_n}} \times \frac{1}{\text{Cosh}\left(\dfrac{W}{L_p}\right)}$$

$$= \frac{\text{Cosech}\left(\dfrac{W}{L_p}\right)}{\text{Coth}\left(\dfrac{W}{L_p}\right) + \dfrac{D_n n_p L_p}{D_p P_n L_n}} = \alpha$$

$$\therefore \gamma \beta^* = \alpha$$

ஏற்புவாய்த் திறம் δ

ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம் குறைவாக இருக்கும்போது துணை ஊர்திகள் தோற்றுவிக்கப்படுவதில்லை. எனவே,

$\alpha = \gamma \beta^*$ எனக் கிடைக்கிறது.

உயர் ஏற்புவாய் மின்னழுத்தங்களில் மொத்த ஏற்புவாய் மின் ளேட்டம் அதிகரிக்கக் காணலாம். இதன் விளைவாக,

$\alpha = \gamma \beta^* \delta$ என வரும்.

δ-என்பது ஏற்புவாய்த் திறம் அல்லது ஏற்புவாய்ப் பெருக்கத் தகவு (collector efficiency or collector multiplication ratio).

இந்தப் பெருக்க விளைவானது ஏற்புவாய் மின்தடை எண் பல ஓம் செ.மீ. இருக்கும் டிரான்சிஸ்டர்களில்தாம் காணப்படுகிறது. இவ் வகைகளில் அடிவாய்ப் பகுதியிலிருந்து ஏற்பு வாய்க்குள் நுழையும் துளைகளின் செறிவு அங்குள்ள பெரும்பான்மைத் துளைச் செறிவுக்கு ஒப்பானதாக இருக்கும். இதனுல் ஏற்புவாய்ப் பகுதி யில் மின்னூட்டச் சமநிலை குலைகிறது. ஆகவே, சிறுபான்மை எலக்ட்ரான்களும் ஒரு செறிவு வாட்டத்தைத் துளைகளைப் போலவே தோற்றுவிக்கின்றன. எனவே, அந்தப் பகுதியில் ஒரு

மின்புலம் தோன்றும். இதே போன்ற ஒரு நிலையை P-N சந்திக் கோட்பாட்டில் 'உயர்மட்ட உட்புகுத்தல்' (high level injection) நிலையென விளக்கப்பட்டது.

இருந்தாலும், ஏற்புவாய்ச் சந்தியிலுள்ள திருப்பிய பயாசினல் p-பகுதியிலிருந்து வரும் எலக்ட்ரான்கள் மின்னோட்டமாக மாறும் படி செய்யப்படுகின்றன. எனவேதான், ஏற்புவாய்ச் சந்தியில் மொத்த மின்னோட்டமானது சந்தியை வந்தடையும் துளை மின்னோட்டத்தைவிட அதிகமாக இருக்கிறது. δ-ன் மதிப்பைக் காண, ஏற்புவாய்ப் பகுதியின் நகர்வு மின்னோட்டத்தையும் கணக்கில் எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். பல்வேறு கணக்கீடு களுக்குப் பிறகு δ-ன் மதிப்பைக் கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிட்டுள்ள னர்.

$$\delta = 1 + \frac{n_p \mu_n}{p_p \mu_p} \quad P\text{-}N\text{-}P \text{ டிரான்சிஸ்டர்} \quad \ldots \; 9{\cdot}46$$

$$\delta = 1 + \frac{p_p \mu_p}{n_p \mu_n} \quad N\text{-}P\text{-}N \text{ டிரான்சிஸ்டர்} \quad \ldots \; 9{\cdot}47$$

இதிலிருந்து ஏற்புவாய்ப் பகுதியில் சிறுபான்மை ஊர்திச் செறிவுக்கும் பெரும்பான்மை ஊர்திச் செறிவுக்கும் உள்ள தகவோடு δ - தொடர்புடையதாக இருக்கிறது எனத் தெரிய வருகிறது. வீருர்ந்த கலப்புடைய ஏற்புவாய்களில் $\delta = 1$ ஆக இருக்கலாம். அடிவாய்ப் பகுதியைவிட மின்தடை எண் மிக்க ஏற்புவாய்ப் பகுதியையுடைய டிரான்சிஸ்டர்களில், ஒன்றைவிடச் சற்று அதிகமாக இருக்கலாம். இவற்றையெல்லாம் கணக்கில் எடுத்துக்கொண்டால், α-ன் மொத்த மதிப்பு,

$$\alpha = \gamma \, \beta^{*} . \, \delta$$

δ-ஒன்றைவிட அதிகமாக இருந்தால் α-ம் ஒன்றுக்குமேல் அதிகமாகலாம். இந்தநிலை உமிழ்வாய்நிலை இணைப்புப் பெற்ற சுற்றுகளில் பெருக்கம் நிலைத்தன்மையுடையதாயிருக்கப் பெரிதும் உதவும். சிலிக்கான் டிரான்சிஸ்டர்களில்தாம் δ-ன் மதிப்பு 1-க்குப் பக்கமாக இருக்கும்; ஜெர்மேனியம் டிரான்சிஸ்டர்களில் இருப்பதில்லை. பொதுவாக ஜெர்மேனியம் டிரான்சிஸ்டர்களில் δ-ஆனது α-ன் மதிப்பை ஏற்புவாய் மின்தடையில் 5 ஓம் செ.மீ.க்கு மேல் அதிகமாகாதவரை பாதிப்பதில்லை.

இந்த ஏற்புவாய்ப் பெருக்கத்தோடு கூட மற்றொரு மின்னோட்டப் பெருக்க விளைவு ஒரு டிரான்சிஸ்டரில் இருக்கக்

கூடும். ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம் சரிவுச் சீர்குலைவு மின்னழுத்தம் பக்கமாக உயர்த்தப்படும்போது, நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கில் அயனியாக்கம் ஏற்படுவதால் இந்தப் பெருக்கம் தோன்றுகிறது. இதைப்பற்றித் திருப்பு மின்னழுத்தச் சீர்குலைவு குறித்து விளக்கும் போது சொல்லப்பட்டது. சீர்குலைவு மின்னழுத்தம் பக்கமாக வுள்ள மின்னழுத்தங்களில் டிரான்சிஸ்டர் செயற்படும்போது α-ன் மொத்த மதிப்பை M-என்ற எண்ணால் பெருக்க வேண்டும். M-என்பது சரிவு மின்னோட்டப் பெருக்க எண் ஆகும்.

$$\therefore \alpha = \gamma \beta^{*} \cdot \delta \cdot M$$

இறுதியாக, $\delta . M = 1$ என்று கொண்டால்,

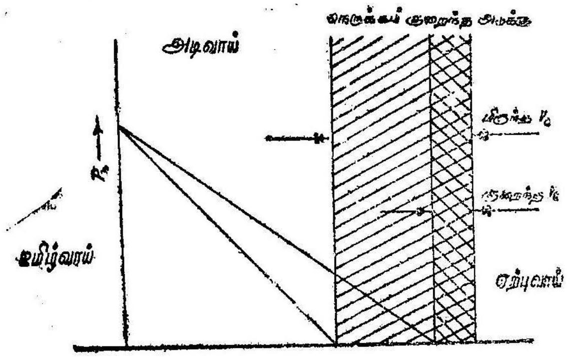
$$\alpha \approx \left[1 + \frac{P_e W}{P_b L_n}\right]^{-1} \left(1 - \frac{W^2}{2 L_p^2}\right) \quad \ldots 9{\cdot}48$$

அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலத்தில் மாற்றங்கள் (Base width modulation)

ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலத்தில் மாற்றங்கள் ஏற்படுவது உண்டு. ஏனெனில், ஏற்புவாய்ப் பகுதியில் உள்ள நெருக்கம்குறைந்த அடுக்கு அடிவாய்ப் பகுதிவரை நீண்டிருக்கிறது. அத்தோடு இந்த அகலமாற்றம் ஏற்புவாய் மின்னழுத்தத்தையும் பொறுத்திருக்கும். டிரான்சிஸ்டர் செயற் படும் முறையை விளக்கும்போது, அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலம் W டிரான்சிஸ்டரின் செயல்முறையில், எவ்வளவு முக்கியமான இடத்தை வகிக்கிறது என்று தெளிவாகக் கூறப்பட்டது. அடி வாய்ப் பகுதியின் அகலம் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு குறுகியதாக இருக்கிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு γ, β^{*} ஆகிய இரண்டும் உயர்மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும். எனவே, மின்னோட்டப் பெருக்கம் α-ன் மதிப்பும் உயரும். அடிவாய்ப் பகுதியின் அகல மானது ஒரு மாறா அளபுரு (Parameter) அன்று. இதன் மதிப்பு உமிழ்வாய், ஏற்புவாய் சந்திகளிலுள்ள மின்னோட்டத்தைப் பொறுத்து அமையும். குறிப்பாக, இது தீர்மானிப்பது ஏற்பு வாய்ச் சந்தி பயாசு மின்னழுத்தமே.

ஒரு டிரான்சிஸ்டரில் இரண்டு சந்திகளின் குறுக்கேயுள்ள நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலமானது சந்தியின் குறுக்கே யுள்ள மின்னழுத்தத் தடுப்பின் இருமடி மூலத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். டிரான்சிஸ்டர் இயல்பான முறையில் செயற் படும்போது உமிழ்வாய்ச்சந்தி முன்னோக்கிய பயாசு பெற்றிருக்கும்.

இது 1 வோல்ட்டிலும் குறைவாக, ஏறத்தாழ 0·1 வோல்ட் இருக்கும். ஏற்புவாய்ச் சந்தி திருப்பிய திசையில் பயாசு பெற்றிருக்கும். இது 5 வோல்ட்டிலிருந்து 15 வோல்ட் வரை இருக்கலாம். எனவே, உமிழ்வாய்ச் சந்தியில் மின்னழுத்தத் தடுப்பானது ஏறத்தாழப் பயாசு பெற்றிராத நிலையிலுள்ள மின்னழுத்தத் தடுப்பை ஒத்திருக்கும். ஆனால், ஏற்புவாய்ச் சந்தியில் மொத்த மின்னழுத்தத் தடுப்பானது மிகவும் உயர்ந்துவிடும். எனவே, திருப்பிய பயாசு பெற்ற சந்தியில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு மிக மிக அகலமாகிவிடுகிறது. பொதுவாக, டிரான்சிஸ்டர்களில் அடிவாய்ப் பகுதியின் கடத்துதிறன் சிறியதாகவும், ஏற்புவாய்ப் பகுதியின் கடத்துதிறன் குறைவாகவும் இருக்கும்படி அமைக்கப் படுகிறது. எனவே, ஏற்புவாய்ச் சந்தியில் நெருக்கம் குறைந்த



படம் 9.12

Vc மின்னழுத்தத்துடன் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகல்மாறுபாடு

அடுக்கின் பெரும்பகுதி அடிவாய்ப் பகுதியிலேயே இருக்கும். இதனால் அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலமானது மிகுந்த அளவு குறைந்துவிடுகிறது. உமிழ்வாய்ச் சந்தியில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலத்திலேற்படும் மாறுபாடு இவ்வளவு முக்கியத் துவம் வாய்ந்ததன்று.

அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலம் குறைக்கப்படுவதனால் மின்னோட்டப் பெருக்கம் α-ன் மதிப்பு உயர்த்தப்படுகிறது. ஏற்புவாய்ப் பகுதிக்குக் கொடுக்கப்படும் திருப்பிய பயாசு மின்னோட்டம் உயர்த்தப்படுவதனால் அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலம்-*W* குறைவதாகக் கூறப்பட்டது. இவற்றைத்தவிர அடிவாய்ப் பகுதியின் அகல மாறுபாட்டிற்கு இன்னும் ஒரு முக்கியத்துவம் இருக்கிறது. அகல மாறுபாட்டிற்கும் மிகுதித் துளைச் செறிவுக்குமாக ஒரு வரை

படம், படம் 9·12-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் n-வகை அடிவாய்ப் பகுதியில் உள்ள துளைச்செறிவு எவ்வாறு இருக்கிறது என்பது காட்டப்பட்டுள்ளது. உமிழ்வாய்ப் பகுதி, அடிவாய்ப் பகுதி ஆகியவற்றிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் V_E மாறாதிருக்க, ஏற்புவாய்ப் பகுதியின் இரண்டு வெவ்வேறு மின்னழுத்தங்களுக்குத் துளைச்செறிவு கணக்கிடப்பட்டு வரைபடம் வரையப்பட்டுள்ளது. ஏற்புவாய் மின்னழுத்தங்கள் வெவ்வேறாக இருப்பதால் அவற்றைப் பொறுத்து அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலமும் வெவ்வேறாக இருக்கின்றன. அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலங்கள் முறையே W_1, W_2 எனக் கொள்வோம். Vc_1, Vc_2 என்பவை ஏற்புவாய் மின்னழுத்தத்தின் இரு மதிப்புகள். $Vc_2 > Vc_1$ ஆக இருப்பதால் $W_2 < W_1$ ஆக இருக்கும்.

உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தில் துளைக் கூறானது உமிழ்வாய்ச் சந்தியில் ($x = 0$) உள்ள இந்தப் பங்கீட்டுக்கோட்டின் சரிவுக்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். எனவே, ஏற்புவாய் மின்னழுத்தத்தை Vc_1-லிருந்து Vc_2-க்கு மாற்றும்பொழுது உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தின் துளைக்கூறு உயருகிறது. உமிழ்வாய்ச் சுற்றின் தடை மிகுதியாக இருந்து அதனால் உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் மாறாதிருக்கிறது என்று கொள்வோம். இப்போது அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலமானது குறைக்கப்பட்டால் உமிழ்வாய்ச் சந்தியில் ($x = 0$) துளைச் செறிவின் சரிவு மாறாதிருக்குமாறு செய்ய, உமிழ்வாய்ச் சந்தி மின்னழுத்தம் V_E குறைவதாகக் கொள்ளலாம். இது படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இந்தப் பின்னூட்ட விளைவு ஜேம்ஸ் ஏர்லி (James Early) என்பவரால் முதன்முதலாகக் குறிப்பிட்டுக் காட்டப்பட்டுள்ளது. எனவே, இந்த அடிப்பகுதி அகல மாறுபாட்டை 'ஏர்லி விளைவு' (Early effect) என்றுகூடக் கூறுகின்றனர்.

துளையிட்டுச் செல்லுதல் (Punch through)

ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாய்ப் பகுதியின் அகல மாறுபாட்டைப்பற்றிச் சொல்லும்போது ஏற்புவாய், அடிவாய் இவற்றிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் Vc, அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலம்-W-வைத் தீர்மானிக்கிறதென்று சொல்லப்பட்டது. ஏற்புவாய்ப் பகுதியில் தோன்றும் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலமானது Vc-ன் இருமடி மூலத்திற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கக் காணலாம். ஏற்புவாய் - அடிவாய்ப் பகுதி மின்னழுத்தம் Vc-திருப்பிய திசையில் உயர்த்தப்பட்டால் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு மேலும் மேலும் அடிவாய்ப் பகுதியில் நுழைந்து அடிவாய்ப்

பகுதியின் அகலத்தைக் குறைத்துவிடுகிறது. ஏற்புவாய்ச் சந்திக்குத் தரப்படும் திருப்பு திசை மின்னழுத்தமானது மிக மிக உயர்த்தப் பட்டால், அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலம் ஒரு நிலையில் சுழியாக ஆகி விடக் கூடும். ஏற்புவாய்ச் சந்தியிலிருந்து அடிவாய்ப் பகுதிக்குள் நுழைந்து நீண்டிருக்கும் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு ஏற்புவாய்ச் சந்தியில் அடிவாய்ப் பகுதிப் பக்கமாக இருக்கும் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கைத் தொட்டுவிடும். இவ்விரு நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு களும் அடிவாய்ப் பகுதியில் ஒன்றோடொன்று கலந்துவிட்டால் அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலம் சுழியாக ஆகி அது மறைந்தே விடுகிறது. இப்போது ஏற்புவாய்ப் பகுதியும், உமிழ்வாய்ப் பகுதி யும் ஒன்றோடொன்று குறுக்கிணைப்புப் பெற்றதாகக் கொள்ள லாம். இந்நிலையில் டிரான்சிஸ்டர் தன்னுடைய செயலையே இழந்து விடுகிறது. இந்த நிலைதான் 'துளையிட்டுச் செல்லுதல்' (Punch through) என்று சொல்லப்படுகிறது. எந்த ஏற்புவாய்-அடிவாய் மின்னழுத்தத்தில் இது ஏற்படுகிறதோ அந்த மின்னழுத்தம் 'துளையிட்டுச் செல்லும் மின்னழுத்தம்' (Punch through voltage) என்று சொல்லப்படுகிறது.

துளையிட்டுச்செல்லும் மின்னழுத்தம் ஏற்புவாய்க்குக் கொடுக் கப்படும் மின்னழுத்தத்தின் உச்சவரம்பைத் தீர்மானிக்கிறது. பொதுவாக, இந்தத் துளையிட்டுச் செல்லும் மின்னழுத்தம் மிக உயர்வாக இருக்கும்படி டிரான்சிஸ்டர்கள் தயாரிக்கப்பட்டு, ஏற்புவாய் மின்னழுத்தத்திற்கு ஓர் உச்சவரம்பு இல்லாமல் செய்யப்படுகிறது. துளையிட்டுச் செல்லும் நிலையை அடைந்து விட்டால் ஒரு டிரான்சிஸ்டர் பழுதுபட்டு விடுமென்பதில்லை. இருந்தாலும், வெளிச் சுற்றிலுள்ள தடையானது மாறுபட்டு மிகுதியான மின்னோட்டம் துளையிட்டுச் செல்லும் நிலையில் டிரான் சிஸ்டர் வழியே ஓடும்படி செய்துவிட்டால், டிரான்சிஸ்டர் பழுதடைந்து விடும்.

இந்தத் துளையிட்டுச் செல்லும் விளைவானது மற்றோர் இடத்தில் புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரைப் (Field Effect Transistor) பற்றி விளக்கும்போது குறிப்பிடப்பட்டுள்ளது.

சரிவு அடிப்பகுதி பெற்ற டிரான்சிஸ்டர்களில் மின்னோட்டப் பெருக்கம்

இதற்குமுன் *P-N-P* சந்தி டிரான்சிஸ்டரின் கோட்பாடுகளை விளக்கும்போது அடிவாய்ப் பகுதியில் தூசு அணுக்களின் செறிவு சீராக இருப்பதாகக் கொள்ளப்பட்டது. மேலும் உட்புகுத்தப் பட்ட துளைச்செறிவானது அடிவாய்ப் பகுதியில் பெரும்பான்மை ஊர்திச் செறிவோடு ஒப்பிடப்படும்போது குறைவாக இருப்ப

தாகக் கொள்ளப்பட்டது. இதனுல் மின்புல வலிமை ஏறத்தாழச் சுழியாக உள்ள ஒரு பகுதியில் துளைகளானது ஊடுருவல் முறை யிலேயே முன்னேறிச் சென்றதாகக் கொள்ளலாம். அதாவது, ஊர்தி நகர்வுவிளைவு அற்ற குறைந்த உட்புகு மட்டத்திலேயே இவை யாவும் செயற்படுவதாகக் கொண்டுள்ளோம். இதனுல் தான் ஏற்புவாய்ப் பெருக்கம் இல்லாதபோது மின்னேட்டப் பெருக்கம்,

$$\alpha = \gamma \cdot \beta^*$$

γ-என்பது உமிழ்வாய்த் திறம்.

β^*-என்பது அடிவாய்ப் பகுதி இடப்பெயர்ச்சி எண்.

ஊடுருவல் முறையில் அடிவாய்ப் பகுதியை அமைத்துத் தயாரிக்கப்பட்ட டிரான்சிஸ்டர்களில் அடிவாய்ப் பகுதியானது சீரற்ற தன்மையுடையதாக இருக்கும். இதுவே 'சீரற்ற அடி வாய்ப் பகுதி அல்லது சரிவாய் அமைந்த அடிவாய்ப் பகுதி' என்று கூறப்படுகிறது.

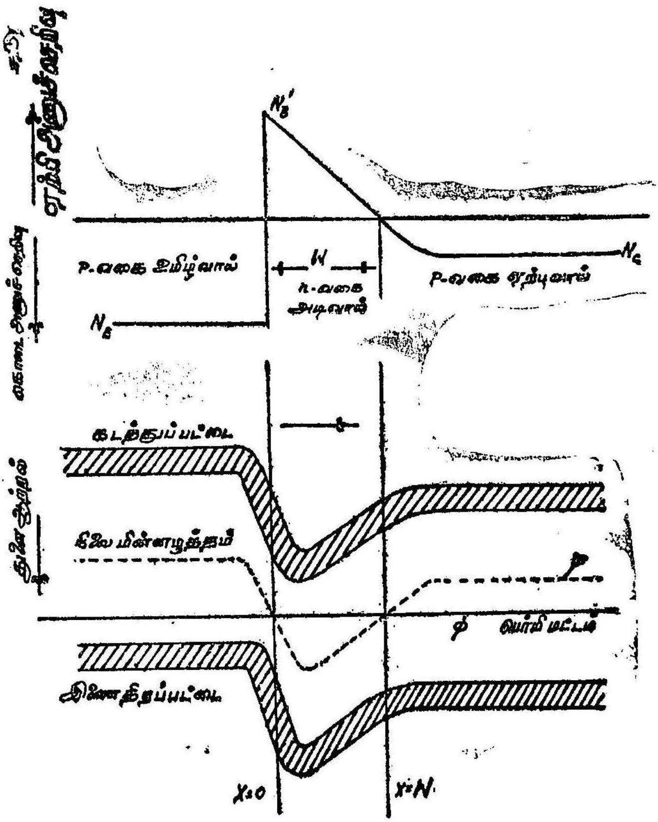
ஒரு P-N-P சந்தி டிரான்சிஸ்டரை எடுத்துக்கொள்வோம். இதன் உமிழ்வாய்ச் சந்தி, படிச்சந்தியாக (step junction) அமைந் தது. இதன் அடிவாய்ப் பகுதி சீரற்ற தூசு அணுப் பங்கீட்டைப் பெற்றுச் சரிவாக உள்ளதாகக் கொள்வோம். அடிவாய்ப் பகுதி யிலுள்ள தூசு அணுப் பங்கீட்டை $N(X)$ என்று குறிப்பிடலாம். இதை ஒரு பொதுவான பங்கீடாகக் கொள்ளவேண்டும். இது ஒரு நேர்பாங்குச்சார்போ, பிழைச்சார்போ, காஷியன் பங்கீடோ அன்று. டிரான்சிஸ்டரின் நீளவாக்கிலுள்ள தூசு அணுச் செறிவு தொலைவோடு எவ்வாறு மாறுபட்டிருக்கிறது என்பது படம் 9.13-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

N_B-என்பது உமிழ்வாய்ச் சந்தியில் அடிவாய்ப் பகுதிக்கு அருகில் உள்ள தூசு அணுச் செறிவாகும். $X = W$ என்பது ஏற்பு வாய்ச் சந்தியைக் குறிக்கும். இது சரிவாக அமைந்துள்ளதாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது.

பயாசு மின்னழுத்தங்கள் கொடுக்கப்படாமலிருக்கும்போது சமநிலைகளில் ஆற்றல் பட்டைகளின் தோற்றம் எவ்வாறு இருக்கும் என்பதைப் படம் 9.13 காண்பிக்கிறது. ஃபெர்மி மட்டம் மட்டும் ஆற்றல் மாருது டிரான்சிஸ்டர் அமைப்பு முழுவதும் நீளவாக்கில் மாருநிலையுடையதாய் இருப்பதாகக்

கொள்ளலாம். எனவே, ஆற்றல் பட்டைகள் ஆற்றல் நிலைகளில் வெவ்வேறு பகுதிகளிலுள்ள ஊர்திச் செறிவுகளுக்கேற்ப இடமாறியிருப்பதைக் காணலாம்.

உமிழ்வாய்ப் பகுதி வீறார்ந்த கலப்புடைய p-வகைக் குறைகடத்தி ஆகும். எனவே, இணைதிறப்பட்டையின் மேல்ஓரம்



படம் 9.13
சரிவுச்சந்தியின் ஆற்றல் மட்டங்கள்

ஃபெர்மி மட்டத்திற்கு அருகிலிருக்குமாறு காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. ஏற்புவாயானது உமிழ்வாய் போன்று அவ்வளவு கலப்புடையாக இருக்காதாகையால் இணைதிறப் பட்டையின் மேல் ஓரம் ஃபெர்மி மட்டத்திலிருந்து சற்றுக் கீழே இருக்கிறது. அடிவாய்ப் பகுதி n-வகைக் குறைகடத்தியினால் ஆனது. எனவே,

கடத்துப்பட்டை. ஃபெர்மி மட்டத்திற்கு அருகில் வருமாறு ஆற்றல் பட்டைகளின் வடிவம் அமைந்திருக்கிறது. இங்கு முக்கியமாகக் கவனிக்கப்பட வேண்டியது என்னவென்றால் அடிவாய்ப் பகுதியிலுள்ள ஊர்திச்செறிவு $N(X)$-னால் மாற்று இருப்பதால் ஆற்றல் பட்டைகள் அதற்கு ஏற்றவாறே சரிவு டைய தாய் வளைந்து காணப்படுகின்றன. உமிழ்வாய்ச் சந்தியில் தான் கடத்துப்பட்டை, ஃபெர்மி மட்டத்திற்கு மிக மிக அருகிலுள்ளது. ஏனெனில், இங்குதான் $N(X)$ அதன் பெருமதிப்பான N_3-ஐப் பெற்றிருக்கிறது. ஏற்புவாய்ப் பகுதியை நெருங்க நெருங்கக் கடத்துப்பட்டை ஃபெர்மி மட்டத்திலிருந்து தள்ளிப்போகிறது ($x = w$ ஆகும்வரை). ஃபெர்மி மட்டம் ϕ-ஆனது ஆற்றல் பட்டைகளுக்கு நடுவில் அமைந்திருக்கிறது. ஃபெர்மி மட்டமும் நிலை மின்னழுத்தக்கோடும் இரண்டு புள்ளிகளில் ($x = 0, x = w$) ஒன்றையொன்று வெட்டுவதைப் படத்தில் காணலாம். இப் புள்ளிகளுக்கிடையேதான் அடிவாய்ப் பகுதி அமைந்திருக்கிறது. இந்த வெட்டுப்புள்ளிகள் 'சந்தி குறுக்குவெட்டுப் புள்ளிகள்' (junction crossover points) எனப்படும்.

ஓட்டுச்சந்தியிலுள்ள அடிவாய்ப் பகுதியில் நிலை மின்னழுத்தம் ϕ மாறாதிருக்க, இதில் நேர்கோடாகப் படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது (படம் 9.13). இதில் $\frac{d\phi}{dx} = 0$ ஆக இருக்குமாகையால் அடிவாய்ப் பகுதியில் மின்புலவலிமை சுழியாகும். இங்குச் சரிவு அடிவாய்ப் பகுதியில் $\frac{d\phi}{dx}$-ன் மதிப்புச் சுழியன்று. அதற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பிருக்கும். எனவே, அடிவாய்ப் பகுதிக்குள் ஒரு மின்புலம் தோன்றியிருப்பதை இது காட்டுகிறது. இந்தத் தோற்றுவிக்கப்பட்ட மின்புலமானது செறிவு வாட்டத்தினால் ஊடுருவி உள்ளேவரும் பெரும்பான்மை ஊர்திகளைத் தடுக்கும் வகையில் அமைந்திருக்கும். இந்த மின்புலம் எலக்ட்ரான்களை அவற்றின் இடத்திலேயே இருத்தி வைத்துவிடும். ஆனால், அதே நேரத்தில் உட்புகுந்த துளைகள் இடம்பெயர்ந்து செல்ல உதவக் கூடியதாக இருக்கும். எனவே, இந்தக் குறைந்த உட்புகுத்தல் நிலையில், துளைகளின் இயக்கத்தில் ஊடுருவல், நகர்வு ஆகிய இரண்டுமே இருக்கும். மேலே விளக்கப்பட்ட நிலையானது P-N-P டிரான்சிஸ்டருக்கும் பொருந்தும். ஆனால், இதில் மின்புலம் எதிர்த்திசையில் அமையும். இது எலக்ட்ரான்களின் ஓட்டத்திற்கு உதவும்.

இவ்வாறு உள்ளே தோற்றுவிக்கப்பட்ட மின்புலம் மின்னோட்டப்பெருக்கம் α-ன் மீது ஒரு விளைவைக் கொடுக்கும். இந்த விளைவைக் கணக்கிட மின்புல வலிமை E-ஐ வரையறுத்துக் கொண்டு துளை மின்னோட்டத்திற்கான கோவையைப் பெற வேண்டும்.

$$n = n_i \, e^{q(\phi - \varphi)/KT}$$

சரி அடிவாய்ப் பகுதிக்கு,

$$n_x = N_{(x)} = n_i \, e^{q(\phi - \varphi)/KT} \quad \ldots 9.49$$

சமன்பாடு 49-ஐ வகைப்படுத்த,

$$\frac{dN}{dx} = \frac{q}{KT} \cdot n_i \, e^{q(\phi - \varphi)/KT} \cdot \frac{d\phi}{dx}$$

உள்ளே தோற்றுவிக்கப்பட்ட மின்புலத்தின் வலிமை,

$$E = -\frac{d\phi}{dx}$$

$$\therefore E = -\frac{KT}{q} \cdot \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dx} \quad \ldots 9.50$$

இது எந்த ஒரு தூசு அணுப் பங்கீட்டையும் சார்ந்த மின்புல வலிமைக்கான பொதுச் சமன்பாடு ஆகும். ஊடுருவல், நகர்வு ஆகிய இரு செயல்களாலும் இடம்மாறிச் செல்லும் துளைகளினால் தோன்றும் மின்னோட்டச் செறிவு,

$$J_p = q \, \mu_p \cdot P \, E - q \, D_p \cdot \frac{dp}{dx} \quad \ldots 9.51$$

E-ன் மதிப்பைச் சமன்பாடு 9.50-லிருந்து 9.51-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$J_p = q \cdot \frac{q}{KT} \cdot D_p \cdot P \left[\left(-\frac{KT}{q} \right) \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dx} \right] - q D_p \frac{dp}{dx}$$

$$= -q \, D_p \left[\frac{dp}{dx} + \frac{P}{N} \cdot \frac{dN}{dx} \right] \quad \ldots 9.52$$

சமன்பாடு 9.51-ஐ Nஆல் பெருக்கி, இருபக்கங்களிலும் தொகைப்படுத்தினால்,

$$\int_0^x \frac{J_p \cdot N}{q\,D_p}\,dx = \int_0^x \frac{d}{dx}[PN]\,dx$$

N-என்பது x-ன் சார்பு ஆகும்.

இதில் ஏற்புவாய்ச் சந்தி $x = w$-ல் $P = 0$ என்ற எல்லை நிபந்தனையைப் பொறுத்த,

$$P = \frac{J_p}{qD_p} \cdot \frac{1}{N} \int_x^w N\,dx \qquad \ldots\ 9.53$$

இந்தச் சமன்பாடு துளைச்செறிவை, அடிவாய்ப் பகுதியின் தொலைவைச் சார்ந்த சார்பாகத் தருகிறது. $x = 0$-ல் $N = N_B$ ஆகும். எனவே, உட்புகுத்தப்பட்ட துளைச்செறிவு,

$$P = \frac{J_p}{qD_p} \cdot \frac{1}{N_B} \int_0^w N\,dx \qquad \ldots\ 9.54$$

தோற்ற ஃபெர்மி மட்டங்களின் ஆற்றல் பட்டையில்,

$$P = P_{nb}\, e^{qV_E/KT} = \frac{n_i^2}{N_B} \cdot e^{qV_E/KT}$$

எனக் கொண்டால், J_p-ஐக் கணக்கிடலாம்,

$$\frac{n_i^2}{N_B} \cdot e^{qV_E/KT} = \frac{J_p}{qD_p} \cdot \frac{1}{N_B} \int_0^w N\,dx$$

$$J_p = \frac{qD_p \cdot n_i^2 \cdot e^{qV_E/KT}}{\int_0^w N\,dx} \qquad \ldots\ 9.55$$

சமன்பாடு 9.55-ல் கிடைத்துள்ள J_p-ன் மதிப்பைக் கொண்டு சரிவு அடிப்பகுதிக்கான மின்னோட்டப் பெருக்கம் α-யையும், உமிழ்வாய்த் திறம் γ-யையும் கணக்கிடலாம்.

$$\gamma = \frac{1}{1 + J_n/J_p}$$

N_E-ஆகச் செறிவுடைய சீரான உமிழ்வாய்ப் பகுதியில் எலக்ட்ரான் மின்னோட்டச் செறிவு,

$$J_n = \frac{q\,D_n\,n_p}{L_n} \cdot e^{qV_E/KT}$$

$$= \frac{q\,D_n\,n_i^2}{L_n\,N_E} \cdot e^{qV_E/KT} \qquad \ldots 9.56$$

சமன்பாடு 9 56-ல் உமிழ்வாய்ப் பகுதியின் தடிமன் எலக்ட்ரானின் ஊடுருவல் நீளம் L_n-ஐவிட மிகுதியாக இருப்பதாகக் கொள்ளப் பட்டிருக்கிறது. சமன்பாடு 56-லிருந்து γ-யைக் கணக்கிடலாம்.

$$\gamma = \frac{1}{1 + q\,\mu_n \int_0^W N dx / (q\mu_p\, N_E\, L_n)}$$

D_n/D_p-க்குப் பதிலாக μ_n/μ_p-என்று எழுதப்பட்டுள்ளது.

$$\gamma = \frac{1}{1 + R_E/R_B}$$

இதில்,

$$R_E = \frac{1}{q\mu_p\, N_E\, L_n} = \frac{P_E}{L_n}$$

$$R_B = \frac{1}{q\mu_n \int_0^W N dx} = \frac{P_B}{W}$$

R_E, R ஆகிய இரண்டும் தகட்டு மின்தடை (sheet resistance) எனச் சொல்லப்படுகின்றன. x- தடிமனுடைய சதுரமான

தகட்டுப்பொருளின் இரு ஓரங்களிடையே அளக்கப்படும் மின்தடைதான் 'தகட்டு மின்தடை' ஆகும். இங்கு R_E-என்பது உமிழ்வாய்ப் பகுதியின் தகட்டு மின்தடையைக் குறிக்கிறது; P_E-இப்பகுதியின் மின்தடை எண், L_n-தடிமனைக் குறிக்கிறது. R_B-என்பது அடிவாய்ப் பகுதியின் தகட்டு மின்தடை. P_B-அடிவாய்ப் பகுதியின் சரிவு மின்தடை எண், W-அதன் அகலம்.

இதிலிருந்தே அடிவாய்ப்பகுதி சரிவாக இருக்கும்படி செய்யப் பட்டால் உமிழ்வாய்த்திறம் அதிகரிக்கிறது என்பது தெரிகிறது. N_B-ன் மதிப்புத் தெரிந்தால் R_B-ஐ எளிதாகக் கணக்கிடலாம். அடிவாய்ப் பகுதியில் தூசு அணுக்களின் பங்கீடு எப்படியிருந்தாலும் திறன் மிகுந்த உமிழ்வாயைப் பெற, உமிழ்வாய்ப் பகுதி முடிந்தவரை வீறூர்ந்த கலப்புப் பெற்றிருக்கவேண்டும் எனத் தெரிகிறது. எனவே, R_E/R_B-தகவு சிறியதாக இருக்கவேண்டும்.

அடிவாய்ப் பகுதி இடப்பெயர்ச்சி எண்

அடிவாய்ப் பகுதியின் இடப்பெயர்ச்சி எண்ணை ஏற்கெனவே வரையறுத்திருக்கிறோம். இது ஏற்புவாய்ச் சந்தியை அடையும் ஊர்திகளின் அளவைக் குறிக்கிறது; அல்லது அடிவாய்ப் பகுதியில் ஒன்றிப்பால் இழக்கப்படாத துளைகளின் எண்ணிக்கையைத் தருகிறது. சீரான அடிவாய்ப் பகுதி அமைப்பில்,

$$\beta^* = \operatorname{sech}\left(\frac{W}{L_p}\right) = 1 - \tfrac{1}{2} \cdot \frac{W^2}{L_p^2}$$

எனக் காண்பிக்கப்பட்டது. அடிவாய்ப்பகுதி சரிவாக அமைந்திருக்கும் போது அதே அகலத்திற்கு β^*-ன் மதிப்பு மிகுதியாக இருக்கும். ஏனெனில், அடிவாய்ப் பகுதியில் உட்புகுத்தப்பட்ட ஊர்திகளின் இடப்பெயர்ச்சிக்கு, உள்ளே தோற்றுவிக்கப்பட்ட மின்புலமும் உதவுகிறது.

$$J_p = -q\, D_p \left[\frac{dp}{dx} + \frac{P}{N} \cdot \frac{dN}{dx}\right]$$

$$\left[\frac{P}{N} \cdot \frac{dN}{dx}\right]$$ — என்பதைத் தோராயமாக $\frac{dp}{dx}$

என்று கொள்ளலாம்.

$$\therefore\ J_p = -q\, D_p \cdot 2\frac{dp}{dx}$$

இதிலிருந்தே ஊடுருவல் மாறிலி இருமடங்காக இருப்பதைக் காணலாம். எனவே,

$$\beta^* = \text{sech}\ \frac{W}{\sqrt{2}\ L_p} = 1 - \frac{1}{4}\ \frac{w^2}{L_p{}^2} \qquad \ldots 9.57$$

சமன்பாடு 9.57-லிருந்து ஒரு சந்தி டிரான்சிஸ்டரில் தூசு அணுப் பங்கீடு அடிவாய்ப் பகுதியில் சீராக அமைக்கப்படாவிட்டால், மொத்த மின்னோட்டப் பெருக்கம்-α மிகுதியாகிறது என்பது தெளிவாகிறது.

சீராகவுள்ள அடிவாய்ப்பகுதி கொண்ட டிரான்சிஸ்டர்களில் வெட்டு அதிர்வெண்

அடிவாய்ப் பகுதியைக் கடந்து ஊடுருவிச் செல்லும் சிறுபான்மை ஊர்திகளுக்கு ஒரு நிலைமம் (Inertia) இருக்கும். இது அவற்றின் விளைவு நிறையையும் (effective mass), நகர்வையும் பொறுத்தது. உமிழ்வாய்ச் சந்திக்குக் கொடுக்கப்படும் வெளி மின்னழுத்தத்தின் அதிர்வெண் படிப்படியாக உயர்த்தப்படுவதாகக் கொள்வோம். இந்த அதிர்வெண் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை அடைந்ததும் கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தச் சைகைக்குத் தகுந்தவாறு ஊர்திகள் உடனடியாகச் செயற்படாத நிலையை அடையும். இதன் விளைவாக ஊர்திகளின் விரைவு குறையத் தொடங்கும். அத்தோடு ஒன்றிப்பு வீதமும் உயர்ந்துவிடும். இதன் பயனாக மின்னோட்டப் பெருக்கம் குறையத் தொடங்குகிறது. இந்தச் செயலானது அடிவாய்ப் பகுதியில் நடைபெறுவதால் அடிவாய்ப் பகுதியின் இடப்பெயர்ச்சி எண் β^* அதிர்வெண்ணோடு எவ்வாறு மாறுபடுகிறது எனக் காட்டலாம். இதற்காக வெட்டு அதிர்வெண்-f_{co} என்பதை வரையறுத்துக் கொள்வோம். β^*-ன் மதிப்பு எந்த அதிர்வெண்களில் 0.707 அளவுக்குக் குறைகிறதோ அந்த அதிர்வெண்தான் 'வெட்டு அதிர்வெண்' எனப்படுகிறது.

ஒரு டிரான்சிஸ்டருக்கு V_E D.c மின்னழுத்தமும், ஒரு A.c சைகையும் ($v_e\, e^{jwt}$) ஒரே நேரத்தில் கொடுக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். v_e-என்பது a.c-ன் வீச்சு. w-என்பது கோண அதிர்வெண் $w = 2\pi f$. எனவே, மொத்த மின்னழுத்தம்,

$$V = V_E + v_e\, e^{jwt} \qquad \ldots 9.58$$

இதனுல் தொடர்ச்சிச் சமன்பாட்டில் $a.c$-க்கும் $d.c$-க்கும் தனித்தனியான இரு தீர்வுகள் காணவேண்டும்.

தொடர்ச்சிச் சமன்பாடு,

$$D_p \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} - \frac{P-P_n}{T_p} = \frac{\partial p}{\partial t} \qquad \ldots\ 9.58(a)$$

இங்கு P-என்பது x, t ஆகிய இரண்டையும் சார்ந்து அமையும் மின்னழுத்தம். இந்தச் சமன்பாட்டுக்கான பொதுத்தீர்வு,

$$P = P_{dc} + P_{ac}\, e^{jwt} \text{ எனக் கொள்வோம்.} \qquad \ldots\ 9.59$$

இதை வகைப்படுத்த,

$$\frac{\partial p}{\partial t} = jwp \qquad \ldots\ 9.60$$

இதைச் சமன்பாடு 9.58(a)-ல் பொருத்த,

$$\frac{d^2p}{dx^2} - \left[\frac{1 + j\,w\,T_p}{L_p}\right] P = 0 \qquad \ldots\ 9.61$$

இதை D.c. மட்டும் உள்ளபோது கிடைத்த தொடர்ச்சிச் சமன்பாடு,

$$\frac{d^2p}{dx^2} - \frac{P}{L_p} = 0 \text{ உடன் ஒப்பிடப்படும் போது,}$$

ஊடுருவல் நீளம் L_p - ஆனது $(1+jw\,T_p)$ என்ற பகுதியால் பெருக்கப்பட்டிருப்பது தெரியவரும். இது ஒரு சிக்கல் சார்பு (complex function). இதனுல் ஊடுருவல் சமன்பாட்டின் தீர்வு அதிர்வெண் சார்புடையதாய் அமைந்துவிடுகிறது. எனவே, அடிவாய்ப்பகுதி இடப்பெயர்ச்சி எண்,

$$\beta^* = \text{Sech}\left[\frac{W}{L_p}\,(1+jw\,T_p)^{\frac{1}{2}}\right] \qquad \ldots\ 9.62$$

மிகமிகக் குறைந்த அதிர்வெண்களில் $wT_p \ll 1$ ஆக இருக்கும். எனவே, தோராயமாக,

$$\beta_0^* = \text{Sech}\,\frac{W}{L_p}.$$

β_0*-வைக் குறை அதிர்வெண் மதிப்பாகக் கொள்ளலாம். இந்தச் சமன்பாடு 9.62 - ஐத் தோராயமாக்கி இப்படியும் எழுதலாம்.

$$\beta^* = \text{Sech}\left(w\, T_p \cdot \frac{W^2}{L_p^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \text{Sech}(wt_b)^{\frac{1}{2}}$$

w - என்பது கொடுக்கப்பட்ட சைகையின் கோண அதிர்வெண்.

T_p - என்பது அடிவாய்ப் பகுதியில் வாழ்வு நேரம்.

L_p - என்பது ஊடுருவல் நீளம்.

W - அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலம்.

$T_p \cdot \frac{w^2}{D_p}$ என்பதை ஊர்திகளின் அடிவாய்ப் பகுதியைக் கடந்து செல்ல எடுத்துக்கொள்ளும் நேரமாகக் கொள்ளலாம்.

$$t_b = \frac{T_p W^2}{D_p} \qquad \ldots 9.63$$

t_b - என்பது அடிவாய்ப் பகுதியைக் கடக்கும் நேரம். இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து W_b- என்ற ஓர் அதிர்வெண்ணில் $W_b t_b = 2.43$ ஆக அமையுமானால் β*-ன் மதிப்பு $\frac{1}{\sqrt{2}}$ அளவு குறைந்துவிடும். அதாவது β_0* - ன் மதிப்பில் 0.707 அளவுக்குக் குறைந்துவிடும். இந்த W_b-தான் டிரான்சிஸ்டருக்கு அடிவாய்ப் பகுதியின் வெட்டு அதிர்வெண் (base cut off frequency) எனப்படுகிறது. $W_b\, t_b = 2.43$ ஆகையால்,

$$f_b = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{2.43\, D_p}{2\pi\, W^2}, \qquad \ldots 9{\cdot}64$$

ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாட்டின்படி $D = \frac{KT}{q} \cdot \mu$ ஆகும். எனவே,

$$f_b = \frac{0.01\, \mu_p}{W^2} \quad P\text{-}N\text{-}P \text{ டிரான்சிஸ்டருக்கு} \qquad \ldots 9{\cdot}65$$

$$f_b = \frac{0.01\mu_n}{W^2} \quad N\text{-}P\text{-}N \text{ டிரான்சிஸ்டருக்கு} \qquad ...66$$

வெட்டு அதிர்வெண் அடிவாய்ப்பகுதி அகலத்தின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்தில் மாறுபடுவதைக்காணலாம். இது சிறுபான்மை ஊர்தியின் நகர்வுக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கிறது. மேலும், சமன்பாட்டிலிருந்து வெட்டு அதிர்வெண் அடிவாய்ப் பகுதியில் வாழ்வு நேரத்தைப் பொறுத்து அமையாது என்பது தெரிகிறது. அடிவாய்ப் பகுதியில் ஊர்திகள் எவ்வளவு வேகமாய் ஊடுருவிச் செல்கின்றன என்பதைப் பொறுத்துத்தான் அதிர்வெண் அமையும். அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலம் ஊடுருவல் நீளத்துடன் ஒப்பிடப்படும்போது சிறியதாயிருக்கும்வரை அதிர்வெண் முக்கியமாக ஊர்தியின் நகர்வைப்பொறுத்துத்தான் அமையும் என்பது தெளிவு. ஒரு $N—P—N$ டிரான்சிஸ்டரின் வெட்டு அதிர்வெண், $P—N—P$ டிரான்சிஸ்டரின் வெட்டு அதிர்வெண்ணை விட மிகுதியாயிருக்கும். ஏனெனில், எலக்ட்ரானின் நகர்வு, துளையின் நகர்வைவிட மிகுதியானது. இதேபோன்று ஜெர்மேனியத்தில் நகர்வு மதிப்புகள் சிலிக்கானில் இருப்பதைவிட மிகுதியாக இருப்பதால் இந்தவகையில் ஜெர்மேனியம் டிரான்சிஸ்டர்கள் சிலிக்கான் டிரான்சிஸ்டர்களைவிடச் சிறந்தவை ஆகும்.

மேலும், ஜெர்மேனியம் சிலிக்கான் ஆகிய இரு டிரான்சிஸ்டர்களுக்குமே சிறுபான்மை ஊர்தி நகர்வு, அடிவாய்ப்பகுதி தூசுச் செறிவைச் சார்ந்த சார்பாக இருக்கக் காணலாம். எனவே, மிகுந்தகலப்புடைய குறைகடத்திகளில் ஊர்தியின் நகர்வு குறைந்துவிடும். அடிவாய்ப்பகுதியின் அகலம் மாறாதிருக்கும்போது, வெட்டு அதிர்வெண் தடை எண்ணுக்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கக்காணலாம்.

சரிவாக அமைந்துள்ள அடிப்பகுதிகொண்ட டிரான்சிஸ்டரின் வெட்டு அதிர்வெண்

சரிவாக அமைந்த அடிப்பகுதியுடைய டிரான்சிஸ்டரின் அடிப்பகுதியின் உள்ளேயே ஒரு மின்புலம் தோற்றுவிக்கப் படுகிறது என்று விளக்கப்பட்டது. இதன் விளைவு டிரான்சிஸ்டரின் மின் இயல்புகளைச் சற்று மாற்றிவிடும். குறிப்பாக, அடிவாய்ப் பகுதியில் கடந்துசெல்லும் சிறுபான்மை ஊர்திகளின் கடக்கும் நேரத்தைக் குறிப்பதே ஆகும். மின்புலம் ஊர்திகளின்மேல் ஒரு விசையைக்கொடுத்து அதனுல் அவை இவற்றின் ஊடுருவல் இயக்கத்தோடு கூடவே ஒரு நகர்வு இயக்கத்

தையும் பெறும்படிசெய்கிறது. கடக்கும் நேரம் குறைந்து விடுவதால், அடிவாய்ப்பகுதி இடப்பெயர்ச்சி எண்ணுக்கான வெட்டு அதிர்வெண் மிகுதியாகிவிடுகிறது. எல்லா அதிர்வெண்களுக்கும் உமிழ்வாய்த்திறம் $-\gamma-$ மாருமல் இருக்கிறது என்றுகொண்டால், ஒரு குறிப்பிட்ட அடிவாய்ப்பகுதி அகலத்தில் வெட்டு அதிர்வெண் மிகுதியாகக் காணலாம். அடிவாய்ப் பகுதியில் தூசுஅணுச்செறிவு மாறும்போது இந்த வெட்டு அதிர்வெண் எவ்வாறு உயருகிறது என்பதை இங்கு காணலாம்.

சீரான அடிவாய்ப்பகுதியில் ஊர்திகள் ஊடுருவலால் மட்டுமே நகர்ந்து செல்லும்போது, வெட்டு அதிர்வெண்ணுக்கான சமன்பாடு,

$$f_{co} = \frac{2.43}{2\pi \; T_b} \qquad \ldots 9.67$$

T_b - என்பது அடிவாய்ப் பகுதியில் கடக்கும் நேரம்.

$$T_b = \frac{W^2}{D^p} \quad P\text{-}N\text{-}P \text{ டிரான்சிஸ்டருக்கு} \qquad \ldots 9.68$$

$$T_b = \frac{W^2}{D_n} \quad N\text{-}P\text{-}N \text{ டிரான்சிஸ்டருக்கு} \qquad \ldots 9.69$$

T_b - ஆனது அரையளவானுல், f_{co} - இருமடங்காகக் காணலாம். நகர்வு மின்னேட்டத்தைப்பற்றி விளக்கும்போது சிறுபான்மை ஊர்திகளின் வேகம்,

$v_D = \mu_p E$- எனக் காட்டப்பட்டது.

E-என்பது மின்புல வலிமையாகும். ஊர்தியின் நகர்வுத் தொலைவு x-ஐப் பொறுத்து அமையவில்லை என்று கொண்டால்,

$$t_b = \frac{1}{\mu_p} \cdot \int_0^W \frac{dx}{E(x)}$$

W-தொலைவைக் கடக்க ஊர்தி எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்தைக் கணக்கிட்டால்,

$$t_b = \frac{W}{V_B} \text{ அல்லது } t_b = \frac{w}{\mu_p E} \qquad \ldots 9.70$$

சரிவாக அமைந்த அடிப்பகுதியில் மின்புலத்தின் வலிமை ஏற்கெனவே கணக்கிடப்பட்டுள்ளது.

$$E = -\frac{KT}{q} \cdot \frac{1}{N} \cdot \frac{dN}{dx} \qquad \ldots 9.70(a)$$

ஊடுருவல் முறையில் அமைக்கப்பட்ட அடிவாயுடைய டிரான் சிஸ்டரில் தூசு அணுப் பங்கீடு பிழைச் சார்பாலோ காசியன் பங்கீடாலோ குறிக்கப்படலாம் என விளக்கப்பட்டது. ஆனாலும், எளிதாயிருக்கக் கீழ்க்கண்டவாறு இருப்பதாகக் கொள்ளலாம்.

$$N = N_B\, e^{-x/L} - N_{Bo} \qquad \ldots 9.71$$

N_{Bo}-என்பது ஏற்புவாய்ச்சந்தியில் ($x = W$-ல், $N = O$ ஆகும் போது) உள்ள தூசு அணுச் செறிவு. இதைத் தோராயமாகச் சமன்பாடு 9.70(a)-ல் பொருத்த,

$$E = \frac{KT}{q} \cdot \frac{1}{W} \log \frac{N_B}{N_{Bo}} \qquad \ldots 9.72$$

இதைச் சமன்பாடு 9.70-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$t_b = \frac{W^2}{D_p \log\left(\frac{N_B}{N_{Bo}}\right)} \qquad \ldots 9.73$$

இதனின்றும் கடக்கும் காலம் சரிவு அடிவாய்ப் பகுதிக்குக் கடக்கும் காலம் $\log \frac{N_B}{N_{Bo}}$ - ஆல் குறைக்கப்படுகிறது. இதை வெட்டு அதிர்வெண்ணில் கணக்கிட,

$$f_{co}^1 = f_{co} \log \frac{N_B}{N_{Bo}} \qquad \ldots 9.74$$

எனவே, தூசு அணுச்செறிவு சரிவாக அமைந்திருப்பதால் தோன் றும் நகர்வு மின்புலம் வெட்டு அதிர்வெண்ணைக் கூடுதலாக்கு கிறது எனத் தெரிகிறது. முக்கியமாக $\frac{N_B}{N_{Bo}}$ —தகவு மிகுதி யாய் இருக்கும்போது வெட்டு அதிர்வெண் அதிகரிக்கிறது.

அடிவாய்ப்பகுதியில் நகர்வு மாறுதிருப்பதாகக் கொண்டுதான் இந்தக் கோவையைத் தருவித்திருக்கிறோம். ஆனால், சரிவாக அமைந்த அடிப்பகுதிகளில் $N_B > N_{Bc}$ ஆக இருக்குமாதலால், உமிழ்வாய்ச் சந்தியில் தூசு அணுச் செறிவு, ஏற்புவாய்ச் சந்தியில் இருப்பதைவிட மிகுதியாயிருக்கும். எனவே, நகர்வுதிறன் உமிழ்வாயிலிருந்து ஏற்புவாய் நோக்கி மிகுதியாகிக்கொண்டே செல்லும். எனவே நகர்வு μ ஒரு தொலைவுசார்ந்த சார்பாக ஆகிவிடுகிறது. $\mu = f(x)$: எனவே, தொகைப்படுத்தப்படும் போது இதையும் கணக்கில் எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். இருந்தாலும், இயல்பான தூசு அணுத்தகவில் (N_B/N_{Bc}) இந்தக் கோவை ஏறத்தாழச் சமமாய் இருக்கும்.

வெட்டு அதிர்வெண்ணுக்கான கோவையை இங்குக் கணக்கிடும் போது உட்புகுத்தப்பட்ட ஊர்திச்செறிவு N_B-யுடன் ஒப்பிடப் படும்போது சிறியதாக இருப்பதாகக் கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது. அப்படி இல்லாவிட்டால், பெரும்பான்மை ஊர்திகளால் அடிவாய்ப்பகுதியில் தோற்றுவிக்கப்படும் மின்புலம் ஊர்திப்புலத் தின் விளைவு இல்லாமல் செய்துவிடும். இது P-N சந்தி உயர் மின்னோட்டங்களில் செயற்படுவதைப் போன்றதாகும்.

வினாக்கள்

1. டிரான்சிஸ்டர் என்றால் என்ன ? அதற்கு அப் பெயர் எப்படி வந்தது ? டிரான்சிஸ்டரின் இரு முக்கிய வகைகள் யாவை?

2. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் உமிழ்வாய், ஏற்புவாய், கடிவாய், என்பவை யாவை ? அவை ஒவ்வொன்றின் அமைப்புப் பற்றி விளக்கி எழுது.

3. ஒரு டிரான்சிஸ்டர் வெளி மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படும் போது செயற்படும் முறையை விளக்கவும்.

4. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் 'மின்னோட்டப் பொருத்த எண்' என்றால் என்ன ? அதை வரையறுத்துக் கூறு.

5. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் (*a*) உமிழ்வாய்த்திறம், (*b*) ஏற்பு வாய்த்திறம், (*c*) இடப்பெயர்ச்சி எண் ஆகியவற்றை வரையறுத்து விளக்கு. அவற்றிடையே உள்ள தொடர் பைக் காட்டும் சமன்பாட்டைத் தருவி.

6. ஒரு டிரான்சிஸ்டரில் உள்ள வெவ்வேறு பகுதிகளில் உள்ள மின்னழுத்தங்களையும் ஆற்றல் மட்டங்களையும் படம் போட்டு விளக்கிக்காட்டு.

7. ஒரு டிரான்சிஸ்டரில் உட்புகுத்தப்பட்ட துளைச்செறிவுக்கான கோவை ஒன்றைத் தருவி.

8. உமிழ்வாய் மின்னோட்டம், ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் ஆகியவற்றிற்கான கோவைகளைக் கண்டுபிடி.

9. ஒரு டிரான்சிஸ்டருக்கு மின்னோட்டப் பெருக்கம் ஏற்புவாய்த்திறம் ஆகியவற்றை எவ்வாறு கணக்கிடுவாய்.

10. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் ஆழ்வாய்ப் பகுதியின் இடப்பெயர்ச்சி எண்ணை எவ்வாறு கணக்கிடுவாய் ?

11. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாய்ப் பகுதியின் அகலத்தில் ஏற்படும் மாற்றங்களை விளக்கி எழுது.

12. துளையிட்டுச் செல்லல் என்றால் என்ன ? ஒரு டிரான்சிஸ்டரில் துளையிட்டுச் செல்லும் நிகழ்ச்சி எப்போது நடைபெறும் ?

13. சரிவான அடிப்பகுதி பெற்ற ஒரு டிரான்சிஸ்டரில் மின்னோட்டப் பெருக்கம் எவ்வாறு இருக்கும் என்பதை விளக்கி எழுது.

14. வெட்டு அதிர்வெண் என்றால் என்ன ? ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாய்ப்பகுதி சீராக இருக்கும்போது அதற்கான வெட்டு அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிட்டுக் காட்டு.

15. சரிவாக அமைந்துள்ள அடிப்பகுதி கொண்ட ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் வெட்டு அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிட்டுக் கூறு.

16. ஒரு *p-n-p* ஜெர்மேனியம் டிரான்சிஸ்டரில் ஏற்புவாய், உமிழ்வாய்ச் சந்திகளுக்கிடையே உள்ள தொலைவு 3×10^{-3} செ.மீ. அடிவாய், உமிழ்வாய், ஏற்புவாய்ப் பகுதிகளின் கடத்துதிறன்கள் முறையே 0.5 மோ/ செ.மீ, 50 மோ/ செ.மீ, 10 மோ/செ.மீ. பயாசு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப் படாதபோது சந்திகளில் தோன்றும் தடுப்பு மின்னழுத்தத்தைக் கணக்கிடுக. உமிழ்வாய்ச் சந்தி 0.1 வோல்ட் முன்னோக்கிய பயாசிலும், ஏற்புவாய்ச் சந்தி 10 வோல்ட் திருப்பிய

பயாசிலும் இருக்கும்போது செயலுறு அடிவாய் அகலத்தைக் கணக்கிடுக.

17. மேலே கண்ட கணக்கில் உள்ள டிரான்சிஸ்டரில் சந்திகளில் தோன்றும் மின்தேக்கு திறன்களைக் கணக்கிடுக. உமிழ்வாய்ச் சந்தியின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு 0.01 ச.செ.மீ ஆகும்; உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் 20 மிலி ஆம்பியராக இருக்கும் போது அறை வெப்ப நிலையில் ஊடுருவல் திறனைக் கணக்கிடு

18. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் செயலை விளக்கி எழுது? ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் செயல்திறன் எவற்றைப் பொறுத்து அமைகிறது என்பதைக் காரணங் காட்டி விளக்கு.

19. பொது உமிழ்வாய்த்திறம் β, பொது அடிவாய்ப் பெருக்கு எண் α, இவற்றிடையேயுள்ள தொடர்பு

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$$ எனத் தருவித்துக்காட்டு.

20. ஒரு n-p-n டிரான்சிஸ்டரில் உமிழ்வாய்ச் சந்தி 0.1 வோல்ட் முன்னோக்கிய பயாசிலும், ஏற்புவாய்ச் சந்தி 5 வோல்ட் திருப்பிய பயாசிலும் இருக்கின்றன. அடிவாய், உமிழ்வாய், ஏற்புவாய்ப் பகுதிகளின் கடத்துதிறன்கள் முறையே 1, 50, 10 மோக்கள் என்றால் டிரான்சிஸ்டரின் நீளவாக்கில் காணப் படும் மின்னழுத்தக் கோட்டின் பங்கீட்டை வரைக. மேலும், ஃபெர்மி மட்டத்தின் நிலையைக் காட்டும் எலக்ட்ரான் ஆற்றல் மட்டப் படத்தையும் வரைக.

21. அடிவாய் அகலப் பண்பேற்றத்தின் அடிப்படையில் எதிர் மின்னழுத்தப் பெருக்கம் நிலைத்திருக்கும் காரணத்தை விளக்குக.

22. ஒரு p-n-p டிரான்சிஸ்டரில் உள்ள ஊர்தி மின்னோட்டங்களை விளக்கி எழுது? அவை (a) வெப்பநிலை மாறுபாடு, (b) பயாசு மாறுபாடு ஆகியவற்றை எவ்வாறு பொறுத்திருக்கிறது என்பதை விளக்கு?

23. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் $\alpha = 0.97$. அது பொது அடிவாய் அமைப்பில் செயற்படுகிறது. அதன் ஏற்புவாய்ச் சுற்றில் 2500 ஓம் மின் தடை உள்ளது. ஒரு சிறு A·c சைகை உள்ளீடாகக் கொடுக்கப்படுகிறது இதன் உள்ளீடு மின்

தடை 100 ஓம். வெளியீடு மின்தடை ஒரு மெகா ஓம். A.C மின்னோட்ட மின்னழுத்தப் பெருக்கங்களைக் கணக்கிடு.

24. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் 3 பகுதிகளின் கடத்து திறன் மின்னோட்டப்பெருக்கம், உமிழ்வாய்த்திறம், அடிவாய்ப் பகுதியின் அகல மாறுபாடு ஆகியவற்றை எவ்வாறு மாற்றி அமைக்கிறது என்பதை விளக்கி எழுது.

25. ஒரு *p-n-p* சந்தி டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாய்ப்பகுதி கடத்துதிறன் 1 மோ/செ.மீ. உமிழ்வாய், ஏற்புவாய்ப் பகுதிகளின் கடத்துதிறன் முறையே 100மோ, 10மோ ஆகும். துளையின் ஊடுருவல் மாறிலி 49 செ.மீ^{2}/விநாடி. அடிவாய்ப் பகுதியில் துளைகளின் வாழ்வு நேரம் 100 μ விநாடிகள். எலக்ட்ரானின் ஊடுருவல் மாறிலி 98 செ.மீ^{2}/விநாடி. உமிழ்வாய்ப் பகுதியில் எலக்ட்ரானின் வாழ்வு நேரம் 50 மைக்ரோ விநாடிகள். அடிவாய் செயலுறு அகலம் 0.01 செ.மீ. உமிழ்வாய்ச் சந்தி 0.1 வோல்ட் முன்னோக்கிய பயாசிலும், ஏற்புவாய்ச் சந்தி 12 வோல்ட் திருப்பிய பயாசிலும் இருக்கின்றன. இந் நிலையில் (*a*) உமிழ்வாய்த்திறம் γ, (*b*) கடத்து எண் β^*, (*c*) ஏற்புவாய்த்திறம் δ, (*d*) குறுக்கிணைப்பு பெருக்கு நிலை எண் α ஆகியவற்றைக் கணக்கிடு.

26. மேலேயுள்ள கணக்கில் டிரான்சிஸ்டரின் குறுக்குப் பரப்பு 0.01 ச.செ.மீ. $\frac{KT}{e} = 0.026V$, $n_i = 2.5 \times 10^{13}$ ஏற்புவாய்ப் பகுதியில் எலக்ட்ரானின் நகர்வுதிறன் 3900 செ.மீ^{2}/வோல்ட்/விநாடி. மின்துளையின் நகர்வுதிறன் 1900 செ.மீ^{2}/வோல்ட்/விநாடி. இவற்றைக் கொண்டு,

(*a*) உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தின் மின்துளைக்கூறு. I_{pE}

(*b*) ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தின் மின்துளைக்கூறு. I_{pc}

(*c*) உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தின் எலக்ட்ரான் கூறு. I_{nE}

(*d*) ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தின் எலக்ட்ரான் கூறு. I_{nc}

(*e*) அடிவாய் மின்னோட்டம் I_B—ஆகியவற்றைக் கணக்கிடு.

10. டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்பு வரைகோடுகள்

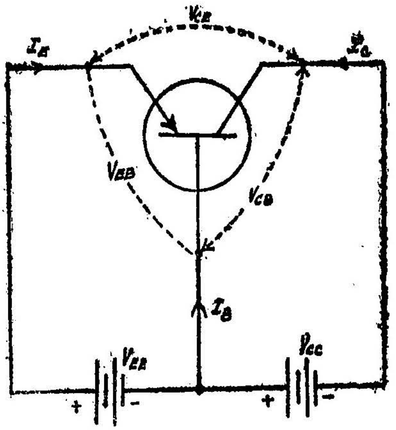
சிறப்பியல்பு

ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் உள்ளமைப்புக்கேற்றவாறு அதன் மின் பண்புகள் எவ்வாறு மாறுபடுகின்றன என்று இதுவரை விளக்கப் பட்டது. ஒரு டிரான்சிஸ்டரை ஒரு சுற்றில் பயன்படுத்தும்போது அதன் அமைப்புப்பற்றி எதுவும் தெரிந்துகொள்ளத் தேவையில்லை. ஆனால், அது சுற்றில் எவ்வாறு செயற்படுகிறது ? மின்னோட்டம் மின்னழுத்தங்களில் அதன் பங்கு என்ன? என்பதுதான் முக்கிய மானது. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் முனைகளுக்கு ஒரு மின்னழுத்தமோ, மின்னோட்டமோ கொடுக்கப்படும்போது என்ன நடக்கிறது என்பதுதான் நடைமுறையில் தெரிந்துகொள்ள வேண்டியதாகும். எனவேதான் டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்பு வரைகோடுகளைப்பற்றி இங்கு ஓரளவு கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. முக்கியமாக மின்னழுத்த மின்னோட்ட வரைகோடுகளைப்பற்றித்தான் இங்கு விளக்கப் பட்டுள்ளது.

ஒரு டிரான்சிஸ்டருக்கு இரண்டு பயாசுகள் கொடுக்கப் படுகின்றன என்று கூறப்பட்டது. டிரான்சிஸ்டரில் மூன்று முனைகள் உள்ளன. அவை உமிழ்வாய், அடிவாய், ஏற்புவாய் ஆகியவையாகும். V_E-என்பது உமிழ்வாய்ப் பயாசு மின்னழுத்தம். V_C - என்பது ஏற்புவாய்ப் பயாசு மின்னழுத்தம். V^{BE} என்பது உமிழ்வாய்க்கும் அடிவாய்க்கும் இடையேயுள்ள மின்னழுத்தம். அதேபோன்று V_{CB} என்பது ஏற்புவாய்க்கும் அடிவாய்க்கும் இடையேயுள்ள மின்னழுத்தம். V_{CE} ஏற்புவாய்க்கும் உமிழ் வாய்க்கும் இடையேயுள்ள மின்னழுத்தத்தைக் குறிக்கின்றன. இப்போது சுற்றில் I_E, I_C, I_B என்ற மூன்று மின்னோட்டங்கள் இருக்கும். இவை படத்தில் காட்டியுள்ள திசைகளில் இருக்கும். இவை முறையே உமிழ்வாய் மின்னோட்டம், ஏற்புவாய் மின் னோட்டம், அடிவாய் மின்னோட்டம் ஆகும். இவற்றின் தொடர்பு களை அறிய இரண்டிரண்டு மின்னழுத்த மின்னோட்டங்களை எடுத்துக்கொள்ளலாம். ஒன்று மாறுபடக்கூடியதாக இருந்தால் மற்றது அதைப்பொறுத்து மாறக்கூடியதாக அமையும்.

நிலை சிறப்பியல்புக் கோடுகளை அறிந்துகொள்வதனால் ஒரு டிரான்சிஸ்டருக்கு எவ்வளவு பயாசு மின்னழுத்தம் கொடுக்க வேண்டும்; அதனால் அதில் எவ்வளவு மின்னோட்டம் தோன்றும்; அதை எந்த வகைக் கருவியாகப் பெருக்கியாகவோ அல்லது அலையியற்றியாகவோ பயன்படுத்தலாம் என்ற விவரங்கள் தெரியவரும்.

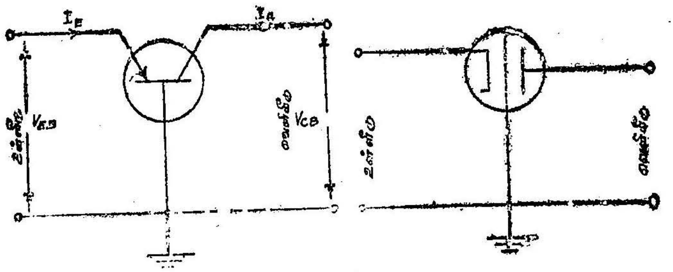
ஒரு டிரான்சிஸ்டர் ஒரு டிரையோடு வால்வுக்கு ஒப்பிட்டுக் கூறப்படுகிறது. டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாய் டிரையோடின் கிரிடுக்கு நேரானதாகவும், அதன் உமிழ்வாய் கேதோடுக்கு நேரானதாகவும், ஏற்புவாய் டிரையோடின் ஆனோடுக்கு நேரானதாகவும் கொள்ளலாம். இவற்றில் ஏதாவதொன்று—அடிவாய்ப் பகுதியோ, ஏற்புவாய்ப் பகுதியோ அல்லது உமிழ்வாய்ப் பகுதியோ நிலை இணைப்புக் கொடுக்கப்படலாம்.



படம் 10·1
P-N-P டிரான்சிஸ்டரில் பயாசுகளும் மின்னோட்டங்களும்

முதலில் அடிவாய்ப்பகுதி நிலை இணைப்புப் பெற்ற அமைப்பை எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். இது ஒரு பெருக்கியாகச் செயலாற்ற முடியும். இதன் சுற்றுப்படம் அடுத்துக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் *A.C* உள்ளீடு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படவில்லை. அதே போன்று பளுத்தடையும் இணைக்கப்படவில்லை. இதைக்கொண்டு சிறப்பியல்பு வளைகோடுகளைக் கணக்கிட்டு வரையலாம். அடிவாய், உமிழ்வாய் இவற்றிற்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் V_{EB}, உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் I_E ஆகியவை உள்ளீடு அளவுகளைக் குறிக்கின்றன. ஏற்புவாய், அடிவாய் இவற்றிற்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் V_{CB}-யும் ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் I_C-யும் வெளியீடு அளவுகளைக் குறிக்கின்றன. இதேபோன்று உமிழ்வாய்ப் பகுதியை நிலைஇணைப்புக் கொடுத்துப் பொது வாயாகப் பயன்படுத்தி மற்ற இரு முனைகளைக்கொண்டு அளவீடுகள் எடுக்கலாம். இவ்வாறு ஒரு டிரான்சிஸ்டரை மூன்று வெவ்வேறு முறைகளில் இணைப்புகள் அமைத்து அதை ஒரு பெருக்கியாகப் பயன்படுத்தலாம்.

அடிவாய்ப்பகுதி நிலைஇணைப்புப் பெற்றிருக்கும்; அல்லது பொது வாயாகச் செயற்படும் ஒரு டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கி, ஒரு டிரையோடு வால்வில் கிரிடு நிலை இணைப்புப் பெற்ற பெருக்கிக்கு ஒப்பானதாகும். இதேபோன்று உமிழ்வாய்ப் பகுதி நிலை இணைப்புப்பெற்ற அமைப்பு டிரையோடு வால்வின் கேதோடு நிலை இணைப்புப்பெற்ற பெருக்கிக்கு ஒப்பானது. ஏற்பு வாய்க்கு நிலை இணைப்புக் கொடுக்கப்பட்டால் அது ஆனோடு நிலைஇணைப்புப் பெற்ற பெருக்கியை ஒக்கும். இந்தவகை இணைப்புகளும் அவற்றிற்கு நேரான டிரையோடு வால்வு இணைப்புகளும் படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. இவற்றில் உள்ளீடு அளவுகளும் வெளியீடு அளவுகளும் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன.



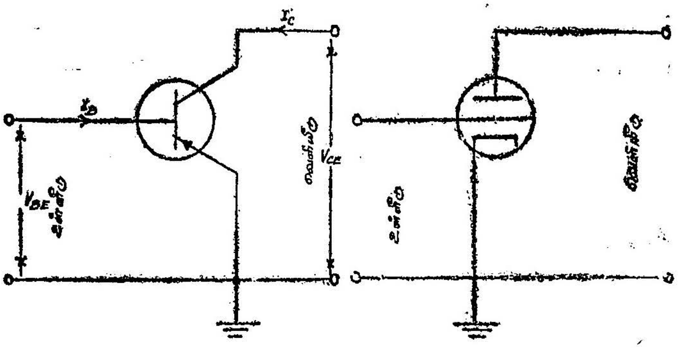
படம் 10·2
பொது அடிவாய் அமைப்பும் பொது கிரிடு அமைப்பும்

ஒரு டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கியாகப் பயன்படுத்தப்படும்போது அதில் திறம் பெருக்கம் பெறவேண்டுமானால் அடிவாய்ப் பகுதி ஓர் உள்ளீடு முனையாகவும், ஏற்புவாய் ஒரு வெளியீடு முனையாகவும் அமையவேண்டும். மேலே படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டுள்ள மூன்றுவகை அமைப்புகளுமே இந்த நிபந்தனைக்கு உட்படுவதால் இவை திறம்பெருக்கும் பெருக்கியாகச் செயற்படும் என்பது தெளிவு. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் மின்சிறப்பியல்புகளை முழுதுமாக விளக்குதற்கு இருவகையான சிறப்பியல்பு வளைகோடுகள் போதுமானவையாகும்.

பொது அடிவாய் அமைப்பில் சிறப்பியல்பு வளைகோடுகள்

ஒரு டிரான்சிஸ்டரில் அடிவாய்ப்பகுதி நிலை இணைப்புப்பெற்றுப் பொதுவாயாகச் செயற்படும்போது அதன் உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் I_E-மாறாது ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பில் இருத்தி வைக்கப்படுகிறது. அடிவாய், ஏற்புவாய் இவற்றிற்கிடையே யுள்ள மின்னழுத்தம் V_{CB} மாற்றப்பட்டு அதற்கு ஏற்றவாறு ஏற்பு

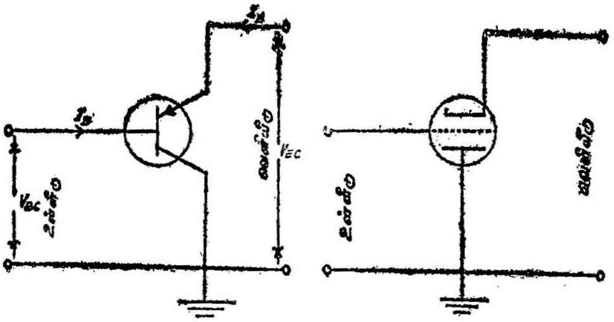
வாய் மின்னோட்டம் I_C எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பது ஒவ்வொரு நிலையிலும் அளந்தறியப்படுகிறது. இந்த இரண்டையும் இணைத்து ஒரு வளைகோடு வரைந்தால் அது ஒரு சிறப்பியல்பு வளைகோட்டைத் தரும். உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் I_E ஐ வெவ்வேறு அளவுகளில் இருத்தி ஒவ்வொரு முறையும் V_{CB} மாற்றப்பட்டு அதற்கேற்றவாறு மாறுபடும் I_C-ன் மதிப்புக் கணக்கிடப்படுகிறது. இவற்றை ஒரே வரைபடத்தில் வரைந்தால் ஒரு வளைகோட்டுத் தொகுப்புக் கிடைக்கும். இது படம் 10·5-ல் காண்பிக்கப் பட்டுள்ளது. உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தை ஒரு பரா மீட்டராக ஏன் கொண்டுள்ளோம் என்றால் அதன் அளவுதான் ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் I_c-ஐத் தீர்மானிக்கிறது. ஏற்கெனவே கூறியுள்ளபடி ஏற்புவாய் மின்னோட்டமானது உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தைவிட சற்றுக் குறைவான மதிப்புடையதாக இருக்கக்காணலாம்.



படம் 10·3
பொது உமிழ்வாய் அமைப்பும் பொது கேதோடு அமைப்பும்

முதல்வளைகோடு I_E $0·5\ mA$ இருக்கும்போது I_c-ன் மாற்றங்களைக் காண்பிக்கிறது. இந்த ஏற்புவாய் மின்னோட்டமானது படிப்படியாக உயர்ந்துகொண்டேபோய் விரைவாக ஒரு தெவிட்டிய நிலையை அடையக் காணலாம். உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் சுழியாக இருக்கும்போது ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் ஏற்புவாய் மின்னழுத்தத்தோடு நேர்த்திசையிலும் எதிர்த் திசையிலும் எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பது *P-N-P* சந்திக் கோட்பாட்டுப் பகுதியில் மிக விளக்கமாகக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. நேர்த்திசையில் மின்னோட்டமானது படிப்படியாக உயர்ந்துகொண்டே செல்லும் என்றும், எதிர்த்திசையில் மிக விரைவாக ஒரு தெவிட்டிய நிலையை அடைந்துவிடும் என்றும் காண்பிக்கப்பட்டது. திருப்பியத் திசையில் இந்த தெவிட்டிய

நிலை தொடர்ந்து இருக்காது என்றும், திருப்பிய பயாசில் ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை அடைந்த வுடன் மின்னோட்டம் திடீரென்று உயர்ந்துவிடும் என்றும் காட்டப்பட்டது. இந்த மின்னழுத்தம் சீர்குலைவு மின்னழுத்தம் ஆகும். இதன் பிறகு கிடைக்கும் மிகுந்த மின்னோட்டம் சீர் குலைவு மின்னோட்டம் என்று வழங்கப்பட்டது. இதைப் படம் 10.6 காட்டுகிறது. இது ஒரு சந்தி டையோடின் மின்னழுத்த மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பு வளைகோடேயாகும்.

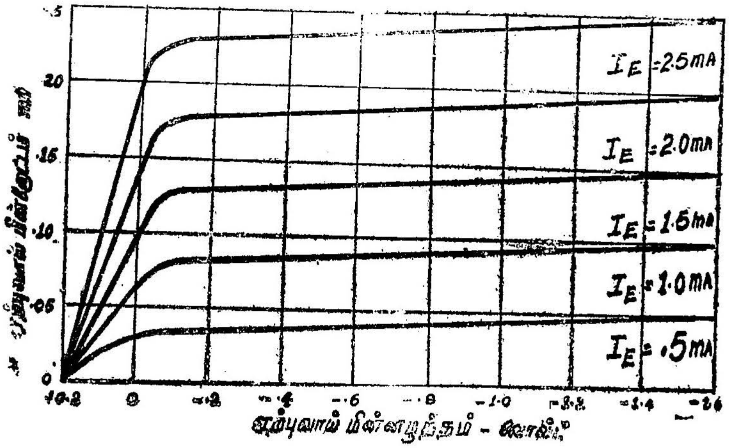


படம் 10·4
பொது ஏற்புவாய் அமைப்பும் பொது ஆனோடு அமைப்பும்

எந்த ஒரு டிரான்சிஸ்டரிலும் அது பயன்படுத்தப்படும்போது ஏற்புவாய்க்குத் திருப்பிய பயாசுதான் கொடுக்கப்படுகிறது. எனவே, உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் I_E சுழியாக இருக்கும்போது ஏற்புவாயால் தோன்றும் மின்னோட்டம் அதன் திருப்புதிசை மின்னோட்டமேயாகும் (reverse Current). இதில் ஏற்புவாய் மின்னோட்டமானது ஏற்புவாய் மின்னழுத்தத்தைப் பொறுத்து மாறுவதில்லை என்பது தெரியும். ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம் சீர்குலைவு நிலையை அடையும்வரை இந்த நிலை நீடிக்கும். ஏற்பு வாய் மின்னழுத்தம் சீர்குலைவு மதிப்பை அடைந்தவுடன், இந்த மின்னோட்டம் திடீரென்று உயர்ந்துகொண்டே செல்வதைக் காணலாம். ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம் சீர்குலைவு மதிப்புக்குக் கீழே குறைக்கப்பட்டால் I_c மீண்டும் பழைய நிலையை அடைந்து விடும். ஆனால், டிரான்சிஸ்டரில் உள்ள ஏற்புவாய்ச் சந்தியானது முழுவதும் பழுதடைந்துவிடாமல் இருக்கவேண்டும். எனவே, நடைமுறையில் ஏற்புவாய் மின்னழுத்தமானது அதன் சீர்குலைவு மின்னழுத்தத்திற்குக் கீழேயே இருக்கும்படி பார்த்துக்கொள்ள வேண்டும். ஏற்புவாய்க்குத் திருப்பிய பயாசு கொடுக்கப்பட்டு எதிர்த்திசையிலேயே மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்பட்டாலும்

ஏற்புவாய் மின்னழுத்த மின்னோட்ட வளைகோடு வரையப்படும் போது மின்னழுத்தத்தை நேர்த்திசையிலேயே குறித்து வழக்கமாகச் சிறப்பியல்புக் கோடு பெறப்படுகின்றன.

ஓர் ஏற்புவாயின் மின்னழுத்த மின்னோட்ட வளைகோடு ஒரு பென்டோடுவால்வின் ஆனோடு வளைகோடுகளை ஒத்திருக்கக் காணலாம். ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவில் ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம் சுழியிலிருந்து மிகுதியாகிக் கொண்டே செல்லும்போது ஏற்புவாய் மின்னோட்டமும் சுழியிலிருந்து தொடங்கி விரைவாக அதிகரிக்கிறது. பிறகு விரைவாக ஒரு மாறுமதிப்பை—தெவிட்டிய மதிப்பை—அடைந்து



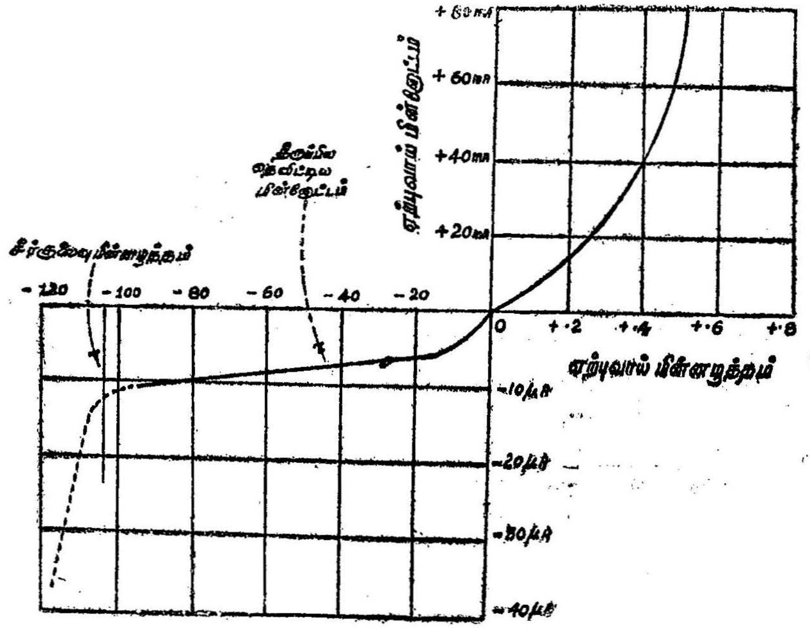
படம் 10.5

ஏற்புவாய் மின்னழுத்த மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புகள்

விடுகிறது. இந்த ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தின் தெவிட்டிய மதிப்பு உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தைவிடச் சற்றுக் குறைவாக இருக்கும். ஏன் இது குறைவாயிருக்கிறது என்பது முன்பே விளக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது *P-N-P* சந்தியில் அடிவாய்ப் பகுதியில் சில துளைகள் எலக்ட்ரான்களுடன் ஒன்றிவிடுவதாலேயே இந்தக் குறைவு தோன்றுவதாகக் கூறப்பட்டது. அடுத்து ஒவ்வொரு குறிப்பிட்ட உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்திற்கும் வரையப்படும் வளைகோடுகள் $I_E = 0$-வுக்கு வரையப்பட்ட வளைகோட்டைப்போலவே அமைந்திருக்கக் காணலாம். உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தின் மதிப்பு உயரஉயர ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தின் தெவிட்டிய மதிப்பு உயர்ந்துகொண்டே செல்வதைக்

காணலாம். உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தில் ஓரலகு மாற்றத்தைத் தோற்றுவித்தால் ஏற்புவாயின் தெவிட்டிய மின்னோட்டத்தின் அளவு α - மடங்கு மிகுதியாகக் காணலாம்.

உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இப்போது ஏற்புவாய் மின்னோட்டமும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவில் இருக்கும். ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தைச் சுழியாக ஆக்க வேண்டுமானல், ஏற்புவாய்க்கும் அடிவாய்க்குமிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் V_{cB} - ஐ நேர்க்குறி

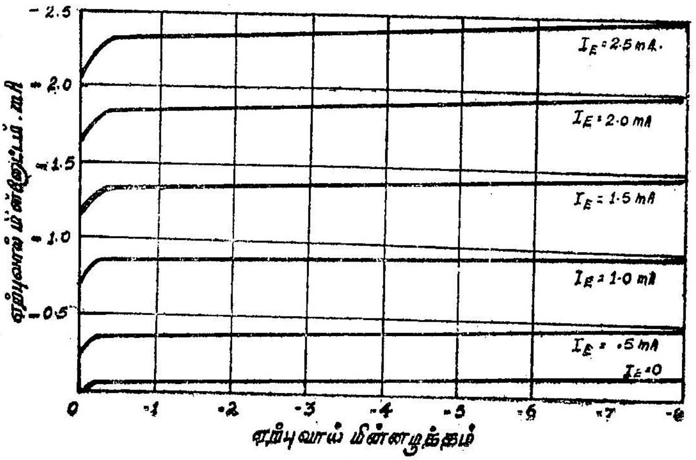


படம் 10.6
திருப்பிய பயாசில் ஏற்புவாய் மின்னோட்டம்

கொண்டதாக்க வேண்டும். அதாவது ஆக்க ஏற்புவாய்ச் சந்திக்கு முன்னேக்கிய பயாசு கொடுக்கவேண்டும். இந் நிலையில் ஏற்புவாய் நோக்கி வரும் துளைகளை ஏற்புவாயானது ஏற்றுக் கொள்ளாது. எனவே, ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் சுழியாகி விடும். ஆனல், நடைமுறையில் எந்த டிரான்சிஸ்டரிலும் ஏற்புவாய் முன்னேக்கிய பயாசில் செயற்படும்படி செய்வதில்லை. இயல்பான செயல்முறைகளில் $I_E = O$ ஆக இருக்கும் நிலையில் தான் டிரான்சிஸ்டர்கள் செயற்படும்படி செய்யப்படுகின்றன.

உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் I_E சுழியாக ஆகுவதற்கு உமிழ்வாய்ச் சந்தி திருப்பிய பயாசு பெறும்படி செய்யவேண்டும்.

ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம் மிகுதியாக ஆக்கப்படும்போது (சீர்குலைவு மின்னழுத்தத்திற்குக் குறைவாகவே) ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதைப் படம் 10.7 காட்டுகிறது. இதில் சிறப்பியல்பு வளைகோடுகள் ஒன்றுக்கொன்று இணையாகவும், சம இடைவெளிகளிலும் அமைந்திருக்கக் காணலாம். இந்த வளைகோடுகள் சற்றே சாய்ந்து ஒரு சிறிய நேர்சாய்வை (positive slope) கொண்டிருக்கக் காணலாம். இது ஏன் ஏற்படுகிறது என்று பார்த்தால் இதற்கு இரண்டு காரணங்களை கூறலாம். (1) மிகுதியாக்கப்பட்ட ஏற்புவாய்



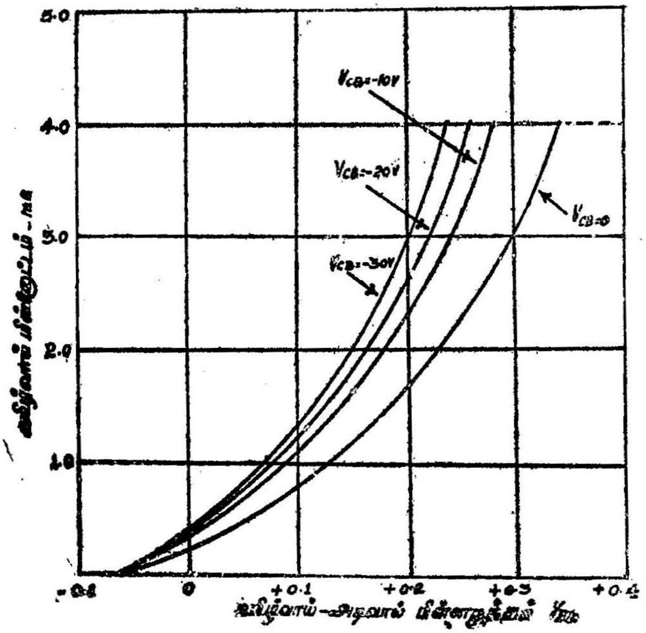
படம் 10·7

மிகுந்த ஏற்புவாய் மின்னழுத்த மின்னோட்ட வளைகோடு

மின்னோட்டம் ஏற்புவாய்ச் சந்தியின் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கை அகலமாக்குகிறது. எனவே, வெப்ப எழுச்சியால் தோற்றுவிக்கப்படும் பெரும்பான்மை ஊர்திகள் ஏற்புவாய் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கினுள் எண்ணிக்கையில் உயர்ந்து திருப்புதிசை தெவிட்டிய மின்னோட்டத்தை மிகுதியாக்கிவிடுகிறது. (2) மிகுதியாக்கப்பட்ட ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தை மிகுதியாக்குகிறது. இந்த சிறப்பியல்பு கோடுகள் சற்றே சாய்வு கொண்டிருப்பதால்தான் வெளியீடு கடத்துகை (output conductance) ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பைக் கொண்டிருக்கிறது. இல்லையெனில் வெளியீடு மின்தடை முடிவிலியாக அமைந்துவிடும்.

பொதுவாய் அமைப்பில் உள்ளீடு சிறப்பியல்பு வளைகோடுகள்

பொதுவாய் அமைப்பில் அடிவாய்க்கும் உமிழ்வாய்க்கும் இடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் V_{EB} யும், உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் I_Eயும் உள்ளீடு அளவுகள் எனப்படுகின்றன. ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம் V_{CB}-ஐ மாறாத ஓர் அளவில் வைத்துக்கொண்டு V_{EB} -ஐ மிகுதியாக்கினால் அதற்கேற்றவாறு உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் மாறுபடும். இந்த மாறுபாட்டினை V_{CB} -ஐ ஒரு பராமீட்டராகக்கொண்டு ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் அது உள்ளீடு சிறப்பியல்பு வளைகோடு (Input characteristic) எனப்படும். இது



படம் 10.8
பொது அடிவாய் உள்ளீடுச் சிறப்பியல்புகள்

உமிழ்வாய் மின்னழுத்தத்திற்கும், உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்திற்குமுள்ள நேரடித்தொடர்பைத் (ஒரு குறிப்பிட்ட மாறா ஏற்பு வாய் மின்னழுத்தத்தில்) தருகிறது. இவ்வாறு ஏற்புவாய் மின்னழுத்தத்தைப் பல்வேறு மாறா அளவுகளில் இருத்திஉமிழ்வாய் மின்னழுத்தத்தை மிகுதியாக்கி உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தில் மாறுபாடுகளை அளக்கலாம். இவற்றை ஒரே வரை படத்தில் வரைந்தால் ஒரு சிறப்பியல்பு வளைகோடுத் தொகுப்பு கிடைக்கும். இதைப் படம் 10.8 காட்டுகிறது.

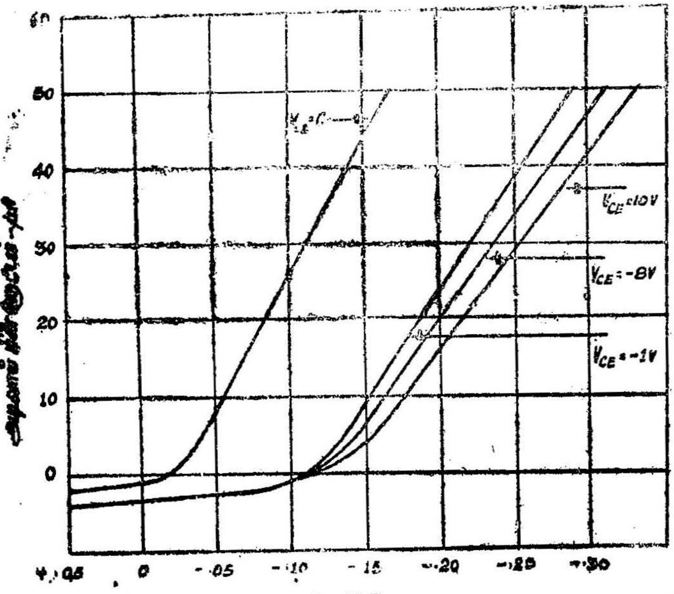
$V_{CB} = O$ ஆக இருக்கும்போது V_{EB}க்கும் I_Eக்கும் உள்ள தொடர்பைக்காட்டும் வளைகோடு, P-N சந்தியில் முன்னேக்கிய மின்னழுத்தத்தோடு முன்னேக்கிய மின்னேட்டம் மாறுபடுவதைப்போன்று அமைந்திருக்கிறது. இந்த வளைகோடு களைக் கவனித்தால் உயர் ஏற்புவாய் மின்னழுத்தங்களில் சாய்வு மிகுந்திருப்பதைக் காணலாம். இதற்கான காரணத்தையும் விளக்கமுடியும். ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம் மிகுதியாக்கப்படும் போது ஏற்புவாயில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு அகன்றுவிடுகிறது என்பது தெரியும். இதனுல் அடிவாய்ப்பகுதியின் விளைவு அகலம் (effective width) குறுகிவிடும். அடிவாய்ப்பகுதியில் உள்ள சிறுபான்மை ஊர்திச்செறிவின் சரிவுக்கு நேர்விகிதத்தில் இந்த உமிழ்வாய் மின்னேட்டம் இருப்பதால்தான், அடிவாய் அகலம் குறைய இந்த I_E விரைவாக மிகுதியாகி வளைகோட்டில் சாய்வு அதிகரிக்கிறது.

இந்தச் சிறப்பியல்பு வளைகோடுகளிலிருந்து உமிழ்வாய் மின்னேட்டத்தைச் சுழியாக்க உமிழ்வாய்—அடிவாய்ச் சந்தி திருப்பிய பயாசைப் பெற்றிருக்க வேண்டும் எனத் தெரிகிறது. மேலும் உமிழ்வாய் மின்னழுத்தத்தைச் சிறிது மாற்றினுலும் உமிழ்வாய் மின்னேட்டம் பெருமளவு உயர்வதைக் காணலாம். எனவே, டிரான்சிஸ்டரின் பொது வாய் அமைப்பில் உள்ளீடு மின்தடை $\dfrac{\partial V_E}{\partial I_E}$ மிகக் குறைவாக இருக்கக் காண லாம். இது P-N-P, N-P-N ஆகிய இருவகை டிரான்சிஸ்டர்களுக் குமே பொருந்தும். உமிழ்வாய் மின்னழுத்தம் மிகுதியாயிருக்கும் போது, உமிழ்வாய் மின்னேட்டத்தை அதனுடன் தொடராக உள்ள மின்தடைதான் தீர்மானிக்கிறது. எனவே, குறைந்த உமிழ்வாய் மின்னழுத்த மாறுபாட்டுக்குக்கூட பெருமளவு உமிழ்வாய் மின்னேட்டம் மாறுமாகையால், ஒரு மின்கல அடுக்கிலிருந்து மாருத ஒரு பயாசை உமிழ்வாய் இணைப்புக்குக் கொடுப்பது அவ்வளவு நல்லதன்று. எனவேதான் உமிழ்வாய்ப் பகுதி ஒரு மாரு மின்னேட்டத்தில் வைக்கப்படுகிறது.

பொது உமிழ்வாய் அமைப்பு

ஒரு P-N-P டிரான்சிஸ்டரின் உமிழ்வாய் நில இணைப்புப் பெற்று அது உள்ளீடுக்கும் வெளியீடுக்கும் பொதுவான இணைப்புக் கொண்டிருந்தால் அது 'பொது உமிழ்வாய் அமைப்பு' (common emitter configuration) என்று கூறப்படும். இதில் உமிழ்வாய்ச் சந்தியானது ஒரு முன்னேக்கிய பயாசு பெற்றிருக்கும்படியும்,

ஏற்புவாய்ச் சந்தியானது திருப்பிய பாயசு பெற்றிருக்கும்படியும் செய்யப்படுகிறது. அடிவாய்க்கும் உமிழ்வாய்க்கும் இடையே யுள்ள மின்னழுத்தம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவில் இருக்கும்போது அடிவாய் மின்னோட்டமானது உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தைவிடக் குறைவாயிருக்கும். ஏனெனில், அடிவாய்ப்பகுதியில் உட்புகுத்தப் பட்ட உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தில் பெரும்பங்கு ஏற்புவாய்ச் சந்திக்குள் சென்றுவிடுகிறது. மீதமிருக்கும் மிகமிகக் குறைந்த மின்னோட்டமே அடிவாய்வழியே ஓடும்.

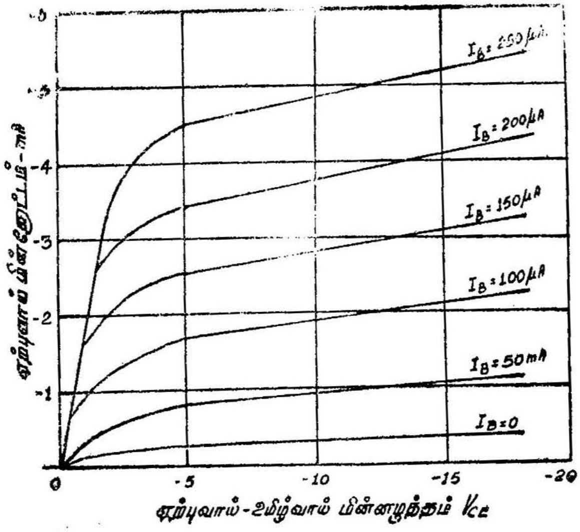


படம் 10.9

பொது உமிழ்வாய் உள்ளீடு சிறப்பியல்புகள்

உமிழ்வாய்க்கும் ஏற்புவாய்க்கு மிடையேயுள்ள திருப்பிய பயாசு சுழியாக இருக்கும்போது அடிவாய்ப்பகுதியில் மிகுந்த மின்னோட்டம் இருக்கும். திருப்பிய பயாசு கொடுக்கப்பட்டவுடனேயே ஏற்புவாய்நோக்கி பெரும் எண்ணிக்கையுள்ள ஊர்திகள் ஈர்க்கப்பட்டு ஓடிவிடுகின்றன. இதனால் அடிவாய் மின்னோட்டம் தாழ்ந்துவிடுகிறது. பொது உமிழ்வாய் அமைப்பிலுள்ள ஒரு *P-N-P* டிரான்சிஸ்டரின் உள்ளீடு சிறப்பியல்பு வளைகோடுகளைப் படம் 10.9 காட்டுகிறது. இதில் ஏற்புவாய், உமிழ்வாய் இவற்றிற்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் பராமீட்டராகக் குறிக்கப் பட்டிருக்கிறது.

ஒரு P-N-P டிரான்சிஸ்டர் பொது உமிழ்வாய் அமைப்பி லிருக்கும்போது அதன் வெளியீடுச் சிறப்பியல்பு கணக்கிட்டு அறிய லாம். இதில் உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தை மாறாத ஒரு மதிப்பில் நிறுத்தி உமிழ்வாய், ஏற்புவாய் இவற்றிற்கிடையேயுள்ள மின் னழுத்தம் மாற்றப்படுகிறது. அதற்கேற்றாற்போல் மாறுபடும் ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் அளந்தறியப்படுகிறது. இவ்வாறு ஒவ் வொரு குறிப்பிட்ட மதிப்பிலும் உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தை இருத்தி, ஏற்புவாய் மின்னோட்ட மாறுபாடு அளந்தறியப் படுகிறது. அடிவாய் மின்னோட்டத்தைப் பராமீட்டராகக் கொண்டு வரையப்படும் வெளியீடுச் சிறப்பியல்பு வளைகோடுகளைப் படம் 10·10 காட்டுகிறது.



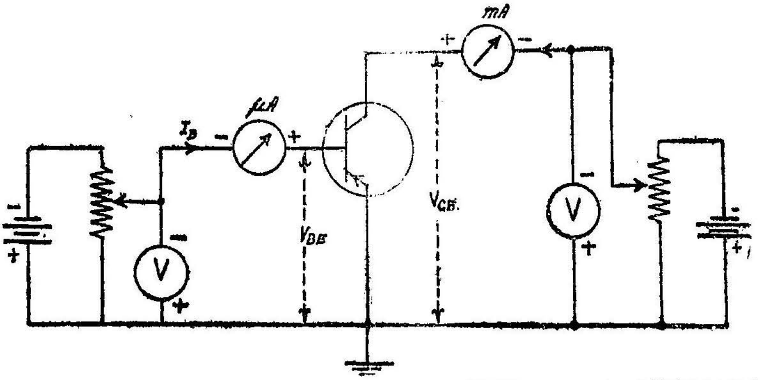
படம் 10·10

பொது உமிழ்வாய் அமைப்பில் வெளியீடு சிறப்பியல்புகள்

இந்த வெளியீடுச் சிறப்பியல்பு வளைகோடுகளின் வடிவம் பொது அடிவாய் அமைப்பின் வெளியீடுச் சிறப்பியல்பு வளைகோடு களை ஒத்திருக்கக் காணலாம். இங்கு வெளியீடு ஏற்புவாய் மின் னோட்டம் உள்ளீடு அடிவாய் மின்னோட்டத்தைவிட மிகுந்திருக்கக் காணலாம். எனவே, பொது உமிழ்வாய் அமைப்பில் மின் னோட்டப் பெருக்கும் பொதுவாகவே ஒன்றுக்கு மேற்பட்டிருக்கும்.

இந்த உள்ளீடு, வெளியீடு ஆகிய இரண்டு சிறப்பியல்புகளைத் தீர்மானிக்கப் பயன்படுத்தப்படும் மின் இணைப்புச்சுற்று (circuit) படம் 10·11-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

இந்தப் பொது உமிழ்வாய் அமைப்பில் அடிவாய் மின்னோட்டமானது இரு கூறுகளால் ஆனது. ஒன்று அடிவாய்ப் பகுதியை விட்டு வெளியேறும் மின்னோட்டம் $I_E(1-\alpha)$. இரண்டு அடிவாய்ப் பகுதிக்குள் நுழையும்—ஏற்புவாய்ச் சந்தியிலுள்ள திருப்பு திசை மின்னோட்டம் I_{RC}. எனவே, அடிவாய்ப் பகுதியிலுள்ள மொத்த மின்னோட்டம்,



படம் 10·11
P-N-P டிரான்சிஸ்டரின் பொது அடிவாய் அமைப்பில் நிலைசிறப்பியல்புகளைக் காணுவதற்கான சுற்று

$$I_B = I_E(1-\alpha) - I_{RC} \qquad \ldots 10\cdot1$$

ஏற்புவாய் மின்னோட்டம்,

$$I_C = \alpha I_E + I_{RC} \qquad \ldots 10\cdot2$$

எனவே, $I_C = \alpha\left(\frac{I_{RC} - I_B}{I-\alpha}\right) + I_{RC}$

$$= I_{RC}\left[\frac{\alpha}{1-\alpha} + 1\right] - I_B\left[\frac{\alpha}{1-\alpha}\right]$$

$$= I_{RC}\left[\frac{\alpha + 1 - \alpha}{1-\alpha}\right] - I_B\left[\frac{\alpha}{1-\alpha}\right]$$

$$I_C = I_{RC}\left[\frac{1}{1-\alpha}\right] + I_B\left[\frac{\alpha}{1-\alpha}\right] \qquad \ldots 10\cdot3$$

α-ன் மதிப்பு ஒரு சந்தி டிரான்சிஸ்டருக்கு ஒன்றுக்குக் கீழாக ஆனால் ஒன்றின் அருகில் இருக்கும். எனவே, $\frac{\alpha}{1-\alpha}$-ன் மதிப்பு மிகமிக அதிகமாக 10-லிருந்து 250 வரை இருக்கும். $I_{RC}\left(\frac{1}{1-\alpha}\right)$ என்பது தெவிட்டிய திருப்புதிசை மின்னோட்டத்தைக் குறிக்கிறது.

டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுகளில் பயாசு அமைப்புகள்

ஒரு டிரான்சிஸ்டர் ஒழுங்காகத் திறமிக்கதாகச் செயற்படுவதற்கு உள்ளீடுச் சுற்றிலும், வெளியீடுச் சுற்றிலும் D·C மின்னழுத்தங்களைக் கொடுக்கக்கூடிய மின்கல அடுக்குகள் இணைக்கப்படுகின்றன. இவை 'பயாசு அமைப்புகள்' என்று வழங்கப்படும். இவற்றோடு தொடராகச் சில மின்தடைகளையும் இணைத்து உள்ளீடுச் சுற்றிலோ, அல்லது வெளியீடுச் சுற்றிலோ ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு D·C மின்னோட்டம் இருக்கும்படி செய்யப்படும். இவ்வாறு குறிப்பிட்ட அளவு மின்னோட்டத்தை ஓடுமாறு செய்வதையும் பயாசு கொடுத்தல் என்று சொல்லலாம். வெற்றிடக்குழல் சுற்றுகளில் கூட இவ்வாறு பயாசு கொடுக்கப்படுகின்றன என்பது தெரியும். வால்வுகளில் D·C ஆனோடு மின்னோட்டத்தையும், கிரிடு மின்னழுத்தத்தையும் தேவைக்கேற்றவாறு மாற்றியமைத்துப் பயாசுகள் நிறுவப்படுகின்றன. வழக்கமாக வால்வுகளில் பயாசு தீர்மானிக்கப்படும்போது அதன் செயற்புள்ளி வால்வின் சிறப்பியல்பு வளைகோட்டில் நேரான பகுதியின் நடுப்புள்ளியிலிருக்குமாறு பயாசுகள் அமைக்கப்படுகின்றன. டிரான்சிஸ்டர்களில் இதே போன்றுதான் பயாசு அமைப்புகள் கொடுக்கப்படுகின்றன.

இப்போது ஒரு போது உமிழ்வாய் அமைப்பை எடுத்துக் கொள்வோம். இதில் பயாசு கொடுப்பதற்கு எவ்வளவு D·C மின்னோட்டம் இருக்கவேண்டும் என்பது முதலில் தீர்மானிக்கப்படும். இது டிரான்சிஸ்டரின் ஏற்புவாய் மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பையும், பளுமின்தடையையும் பொறுத்துத்தான் அமைக்கப்படும். பொதுவாக டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கிகளாகப் பயன்படுத்தப்படும். அதனால் பெருக்கப்பட்டு வெளிவரும் வெளியீடு மின்னழுத்தம் உருக்குலைவு (distortion) அற்று இருக்கவேண்டும். அதாவது ஏற்புவாய்ச் சுற்றில் வெளிவரும் பெருக்கப்பட்ட மின்னழுத்தத்தின் அலைவடிவம் அடிவாய்ப் பகுதியில் உள்ளீடாகக் கொடுக்கப்பட்ட அலைவடிவத்தைப்போன்றே இருக்கவேண்டும்; உருவம் மாறியிருக்கக்கூடாது. இதைத்தான் உருக்குலைவு அற்றது என்கிறோம்,

எனவே, பயாசுகளின் அளவுகள் தீர்மானிக்கப்படும்போது இவற்றைக் கருத்தில் கொண்டுதான் பயாசு மின்னழுத்தங்கள் தீர்மானிக்கப்படுகின்றன. இப்படி அமைக்கப்பட்ட பயாசுகளில் டிரான்சிஸ்டர் செயற்படும்போது உள்ளீடுச் சைகை அதன் உச்ச மதிப்பில் இருக்கும்போது டிரான்சிஸ்டரின் ஏற்புவாய் (வெளியீடு) மின்னழுத்தமோ, அல்லது மின்னோட்டமோ வெட்டு நிலைக்குச் சென்றுவிடக்கூடாது; அல்லது நேர்ப்பாங்கற்ற பகுதிக்கும் சென்றுவிடக்கூடாது. அத்தோடு டிரான்சிஸ்டர் செயற்படும்போது அதிலிருந்து வெளியேறும் திறன் அதற்கு அனுமதிக்கப்பட்டதைவிட மிகுதியாகப் போய்விடக்கூடாது. அப்படி மிகுதியானல் டிரான்சிஸ்டர் உடனடியாகப் பழுதடைந்துவிடும். இவற்றையெல்லாம் கருத்தில் கொண்டுதான் ஒரு டிரான்சிஸ்டருக்குப் பயாசு அமைப்புகள் தீர்மானிக்கப்பட வேண்டும்.

ஒரு வெற்றிடக் குழலுக்கு நிலையான பயாசை எளிதாகக் கொடுத்துவிடலாம். ஆனல், ஒரு டிரான்சிஸ்டருக்குக் கொடுக்கப்படும் பயாசு மாருது ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னழுத்தத்திலோ, மின்னோட்டத்திலோ மாருதிருக்கும்படி செய்வது எளிதானதன்று. ஏனெனில், ஏற்புவாய் மின்னழுத்தத்தில் தோன்றும் எந்த மாற்றமும் உடனடியாக அடிவாய் மின்னோட்டத்தை அதற்கேற்றவாறு மாற்றிவிடும். இதேபோன்று உள்ளீடு மின்னோட்டத்தில் ஏற்படும் எந்த மாற்றமும் உடனடியாக வெளியீடு மின்னழுத்தத்தை அதற்கேற்றுற்போல் மாற்றிவிடும்.

ஒவ்வொருவகை டிரான்சிஸ்டரிலும் வெவ்வேறு விதமான சிறப்பியல்புகள் இருப்பதனல் அவை ஒன்றுக்கொன்று மிகவும் மாறுபட்டிருக்கும். எனவேதான், ஒருவகை டிரான்சிஸ்டருக்கு அமைக்கப்படும் பயாசு மதிப்புகள் மற்றதற்குப் பொருந்திவரா.

ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்புகள் செயற்படும் வெப்பநிலையைப் பெரிதும் சார்ந்திருக்கின்றன. ஒரே டிரான்சிஸ்டர் வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் வெவ்வேறு சிறப்பியல்புகளைக் கொண்டிருக்கும். எனவேதான் ஒரு குறிப்பிட்ட பயாசை மாருதிருக்குமாறு அமைப்பது எளிதாக இருப்பதில்லை.

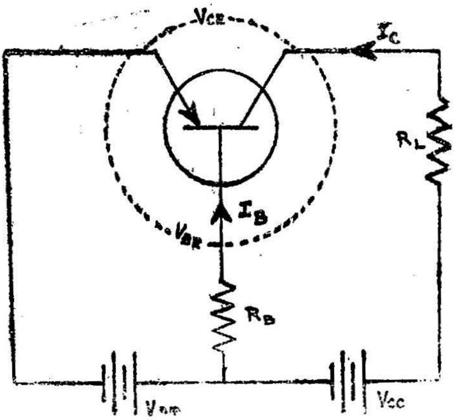
பளுத்தடையும், பளுக்கோடும்

படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் ஒரு பொது உமிழ்வாய் அமைப்பை எடுத்துக்கொள்வோம். இது ஏற்புவாய்ச் சுற்றில் மின்கலத்தோடு தொடர்பாக ஒரு தடை R_L இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்த மின்கலத்தின் மின் இயக்குவிசை V_{CC}-எனக்

கொள்வோம். I_c-என்பது ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தையும், V_{CE}-என்பது உமிழ்வாய்க்கும் ஏற்புவாய்க்கும் இடையேயுள்ள மின்னழுத்தத்தையும் குறித்தால் இச் சுற்றிலுள்ள மின் இயக்குவிசையைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$V_{CC} = I_C \cdot R_L + V_{CE} \qquad \ldots 10.4$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_L} - \frac{V_{CE}}{R_L} \qquad \ldots 10.5$$



படம் 10·12
பொது உமிழ்வாய் சுற்று

இதில் I_e-யும் V_c-யும் மாறக்கூடியவை. இந்தச் சமன்பாடு ஒரு நேர்கோட்டைக் குறிக்கிறது. ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் மின்னழுத்தங்களுக்கிடையேயுள்ள தொடர்பைக்குறிக்கும் சிறப்பியல்பு வளைகோடுகள் வரையப்பட்டுள்ள வரைபடத்தில் இந்தச் சமன்பாட்டுக்கான வரைபடம் வரைந்தால் அது ஒரு நேர்கோடாக அமையும். இந்த நேர்கோட்டைத்தான் பளுக்கோடு (load line) என்கிறோம். இந்தப் பளுக்கோட்டின் சாய்வு,

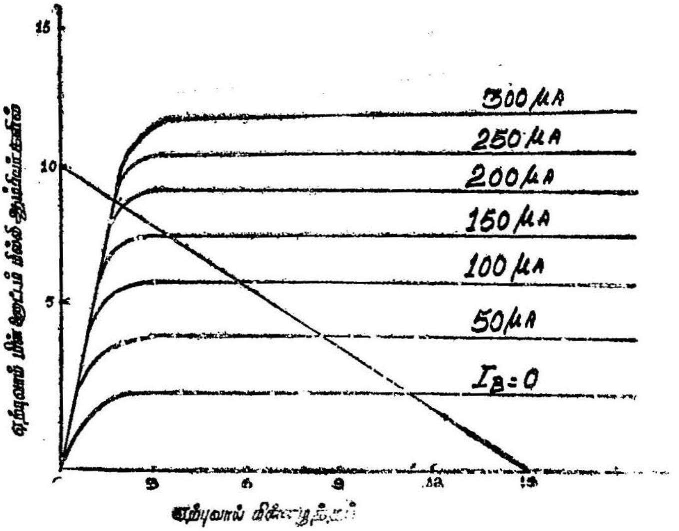
$$\tan^{-1}\left(-\frac{1}{R_L}\right) \text{ ஆகும்.}$$

$\frac{V_{CC}}{R_L}$-என்பது மின்னோட்டம் குறிக்கப்பட்டுள்ள அச்சை இந்தப் பளுக்கோடு வெட்டும் புள்ளியாகும், இது வால்வுகளுக்கு வரையப்படும் பளுக்கோடு போலவே இருக்கிறது.

பொது உமிழ்வாய் அமைப்பில் நிலையான பயாசு

ஒரு பொது உமிழ்வாய்ச்சுற்றமைப்பில் அடிவாய்க்கும், ஏற்பு வாய்க்கும் பயாசுகள் கொடுக்கப்படுகின்றன. இந்தப் பயாசுகளை இரண்டு மின்கல அடுக்குகளைக்கொண்டு படம் 10.12-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் கொடுக்கலாம்.

V_{BB} -என்பது அடிவாய்ப்பகுதிக்கு இணைக்கப்பட்டுள்ள பயாசு மின்கல அடுக்கு. இதனுடன் தொடர்பாக R_B-என்ற உயர்மின் தடை இணைக்கப்பட்டுள்ளது .இதனால் பயாசில் ஒரு மாறு மின்னோட்டம் இருக்கும். R_B-யானது எவ்வளவுக்கெவ்வளவு உயர்மின் தடையாக இருக்கிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு உள்ளீடு மின் மறுப்பானது மிகுதியானதாக இருக்கும். ஏற்புவாய்ச் சுற்றில்



படம் 10.13
ஏற்புவாய் சிறப்பியல்பு (பொது உமிழ்வாய் அமைப்பில்)

V_{CC}-என்ற பயாசு மின்கல அடுக்கு R_L-என்ற பளுமின்தடையுடன் தொடராக இணைக்கப்பட்டுள்ளது. மின்கல அடுக்கின் மின்னழுத்தம் V_{CC}-யும், பளுமின்தடை R_L-ம் தெரிந்தால் அதனைக் கொண்டு பளுக்கோட்டை ஏற்புவாய்ச் சிறப்பியல்பு வளைகோடுகளிடையே வரையமுடியும். அடுத்து அடிவாய்ப் பகுதியிலுள்ள மின்னோட்டம் I_B பொருத்தமான அளவு இருக்குமாறு தேர்ந்தெடுக்கப்பட வேண்டும். கொடுக்கப்படும் சைகை உச்ச

மதிப்பிலிருக்கும்போது டிரான்சிஸ்டர் செயல் வெட்டு நிலைக்கோ அல்லது நேர்ப்பாங்கற்ற பகுதிக்கோ சென்றுவிடாமல் இருக்குமாறு இந்த I_B மதிப்பைத் தேர்ந்தெடுக்கவேண்டும். அப்படியில்லாவிட்டால் அதன் வெளியீட்டின் வடிவம் உள்ளீடுபோல் அமையாது உருக்குலைந்துவிட நேரிடலாம். இது வெட்டு நிலைக்குப் போய்விட்டால் வெளியீட்டின் ஒரு பகுதி தோன்றாது இருந்துவிடும். இது நேர்ப்பாங்கற்ற பகுதிக்குச் சென்றுவிட்டால் வெளியீடு உருக்குலைவடைந்துவிடும். எனவே, செயற்புள்ளியானது பளுக்கோட்டின் நடுவில் அமையுமாறு இந்த அடிப்பகுதி மின்னோட்டம் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டு அமைக்கப்படுகிறது. R_B-மின் தடையின் எண்ணளவைக் கீழ்க்கண்ட அடிவாய்ப் பகுதிச் சுற்றுச் சமன்பாட்டிலிருந்து கணக்கிடலாம்.

$$V_{BB} = I_B . R_B + V_{BE}$$

V_{BE}-தெரிந்தால்தான் இதைக் கணக்கிட முடியும். V_{BB}-ன் மதிப்பு 5 அல்லது 6 வோல்ட்டுகள் இருக்கலாம். V_{BE} 0.1 வோல்ட் அளவில்தான் இருக்கும். ஏனெனில், அடிவாய்ப்பகுதி முன்னோக்கிய பயாசில் இருக்கும். எனவே, V_{BE}-ன் மதிப்பு V_{BB}-யோடு ஒப்பிடப்படும்போது மிகச்சிறியதாக இருப்பதால் அதை விட்டுவிடலாம். எனவே,

$$V_{BB} = I_B . R_B.$$

இங்கு அடிவாய்ப்பகுதி மின்னோட்டம் I_B-யானது இணைக்கப்படும் உயர்மின்தடை R_Bஐயும் மின்கல அடுக்கின் மின்னழுத்தம் V_{BB} ஐயும் பொறுத்தமையக் காணலாம்.

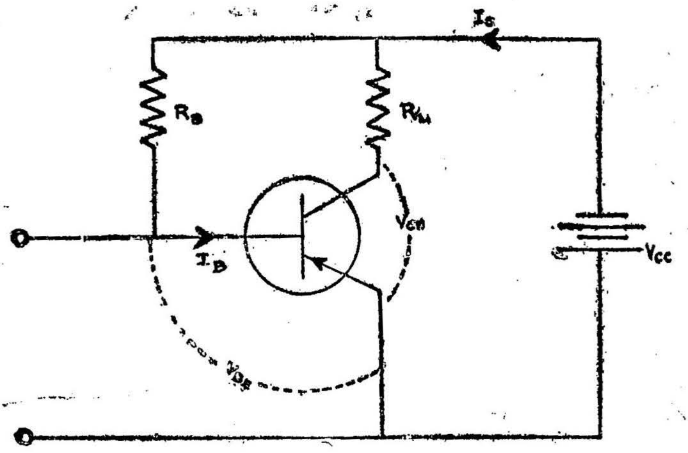
ஒற்றை மின்கல அடுக்கைக்கொண்டு பயாசு அமைத்தல்

டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுகளில் பயாசு மின்னழுத்தங்கள் கொடுக்கப்படும்போது இரு மின்கல அடுக்குகளைப் பயன்படுத்த வேண்டியுள்ளது. இது சுற்று அமைப்புக்கு அவ்வளவு உகந்ததன்று. இரு மின்கல அடுக்குகளைத் தவிர்த்து, ஒரே ஒரு மின்கல அடுக்கு V_{CC} ஐ மட்டும் பயன்படுத்தி உமிழ்வாய், ஏற்புவாய்ப் பகுதிகளுக்கும் பயாசு கொடுக்கலாம். படம் 10.14-ல் ஒரு பொது உமிழ்வாய்ப் பெருக்கியின் படம் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் ஒரே ஒரு மின்கல அடுக்குதான் நிலையான பயாசை உமிழ்வாய்ச்சுற்று, ஏற்புவாய்ச்சுற்று ஆகிய இரண்டிற்கும் தருகிறது.

இங்கு ஒற்றை மின்கல அடுக்கைக்கொண்டு பயாசுகள் கொடுக்கப்பட்டிருந்தாலும் பயாசுகளின் அளவு வெப்பநிலை மாறுதவரையில்தான் நிலையானதாக இருக்கும். வெப்பநிலை மாறினால் உடனடியாக டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்புகள் மாற அதற்கேற்றாற்போல் எல்லாமே மாறிவிடும்.

தானே அமையும் பயாசு அல்லது தன்பயாசு (Self bias) அமைப்பு

ஒரு பொது உமிழ்வாய் அமைப்பில் ஒரே ஒரு மின்கல அடுக்கையும் R_B மின்தடையையும் பயன்படுத்தி உமிழ்வாய்ச் சுற்றுக்கும், ஏற்புவாய்ச் சுற்றுக்கும் பயாசுகள் கொடுக்கப்பட்டாலும் அது செயற்படும்போது செயற்புள்ளி அவ்வளவு நிலைத் தன்மையுடையதாக இருக்குமென்று சொல்ல முடியாது.



படம் 10.14
ஒற்றைமின்கல அடுக்கைப் பயன்படுத்தி நிலைத்த பயாசைப் பெறும் அமைப்புச்சுற்று

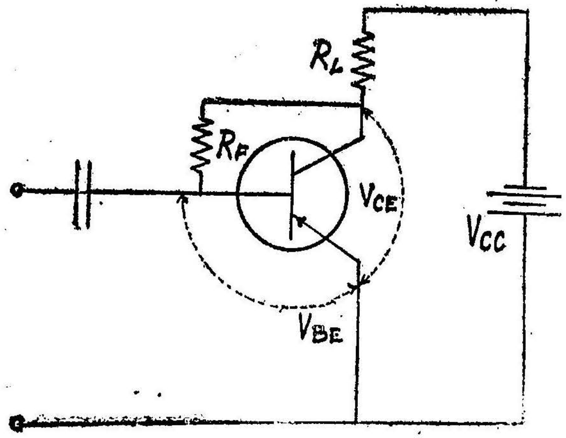
இதற்காக வேறு ஒரு முறையில் அடிவாய்ப்பகுதியில் பயாசு அமைக்கப்படுகிறது. இந்த அமைப்பில் நிலைத்தன்மை சற்று மிகுதியாகவே இருக்கும்.

இந்தத் தன் பயாசு அமைப்பில் ஒரு கணக்கிடப்பட்ட பொருத்தமான மின்தடை R_F, டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாய்க்கும் ஏற்புவாய்க்கும் இடையே நேரடியாக இணைக்கப்படுகிறது. இந்த அமைப்பு எவ்வாறு செயல்படுகின்றது என்று விளக்கலாம்.

வெப்பநிலை உயர்வால் ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் உயருவதாகக் கொள்வோம். இப்போது அதற்கேற்றாற்போல் ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம் V_{CC} குறைந்துவிடும். இது குறைந்த தன் விளைவாக R_F மின்தடை வழியே ஓடும் மின்னோட்டம் குறைந்துவிடும். அதாவது அடிவாய்ப்பகுதியில் ஓடும் மின்னோட்டம் குறைந்துவிடுகிறது.

அடிவாய் மின்னோட்டம் குறைந்தால் அதற்கேற்றாற்போல் ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் குறையும் என்பது தெளிவு. இது ஒரு பின்னூட்டச் செயலாகும் (feed back action) எனவே, ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் அதன் தொடக்க மதிப்புக்குத் திரும்பிவிடுகிறது.

இதற்கு மாறாக, வெப்பநிலை தாழ்வதாகக் கொண்டால், ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் அதற்கேற்றவாறு குறையும். இது குறைந்ததும் மின்னழுத்தம் V_{CC} உயருகிறது. அதற்கு ஏற்றவாறு R_F வழியே ஓடும் மின்னழுத்தம் கூடுதலாகிவிடும். அதாவது, அடிவாய்ப்பகுதி மின்னோட்டம் உயர்ந்துவிடுகிறது, அடிவாய்ப்பகுதி



படம் 10.15
தன்பயாசு டிரான்சிஸ்டர் சுற்று

மின்னோட்டத்தைப் பொறுத்து ஏற்புவாய்ப்பகுதி மின்னோட்டம் அமையுமாதலால் இது ஒரு பின்னூட்டச் செயலாகி ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தை அதிகரித்துத்தொடக்கநிலைக்குக் கொண்டுவந்து விடுகிறது. இவ்வாறு இந்தத் தன்பயாசு அமைப்பில் ஒரு வகையான நிலைத்தன்மையுடையதாக்கும் செயல் தானே நடைபெறுகிறது. இந்தத் தன்பயாசு அமைப்பு படம் 10·15-ல் காண்பிக்கப் பட்டுள்ளது.

முதலில் பளு மின்தடை R_L ஐயும், மின்கல அடுக்கின் மின்னழுத்தம் V_{CC} ஐயும் பயன்படுத்திப் பளுக்கோடு வரையலாம். பிறகு, அடிவாய்ச்சுற்றுக்குக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்திப் பயாசுக் கோட்டைத் (bias line) தீர்மானிக்கலாம்.

$$V_{CE} = R_F \cdot I_B + V_{BE}.$$

வழக்கம்போல் V_{BE} 0·1 வோல்ட் அளவிலும், V_{CC} பல வோல்ட்களுமிருப்பதால் V_{CC} - யுடன் ஒப்பிடப்படும்போது V_{EB} ஐத் தள்ளிவிடலாம்.

$$\therefore V_{CE} = R_F \cdot I_B.$$

இது பயாசுக் கோட்டுக்கான சமன்பாடு ஆகும் R_F-ன் மதிப்புத் தெரிந்தால் ஏற்புவாய்ச் சிறப்பியல்பு வளைகோடுகளுடைய வரைபடத்தில் இந்தப் பயாசுக்கோட்டை வரையலாம். பயாசுக் கோடும் பளுக்கோடும் ஒன்றையொன்று வெட்டுமிடம்தான் 'செயல்புள்ளி' (operating point) ஆகும்.

தன்பயாசு அமைப்புடன் பொது உமிழ்வாய்ச் சுற்று அமைக்கப்படும்போது பொருத்தமான பளுத்தடை R_L தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டுப் பளுக்கோடு வரையப்படுகிறது. பிறகு தேவையான அளவு அடிவாய்ப்பகுதி மின்னோட்டம் தீர்மானிக்கப்பட்டு அதற்கேற்றாற்போல் செயற்புள்ளி நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. செயற்புள்ளியை நிர்ணயிக்கும்போது அது பளுக்கோட்டின் நடுப்பகுதியில் இருக்குமாறு அமைக்கவேண்டும். V_{CE} மதிப்பும் I_B-ன் மதிப்பும் தெரிந்தால் இவற்றிலிருந்து அடிவாய்ப் பகுதியுடன் இணைக்கப்படவேண்டிய தன்பயாசு மின்தடை R_F ஐக் கணக்கிடமுடியும்.

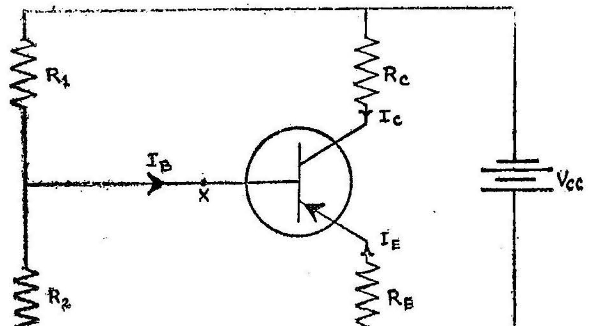
இவ்வாறு அமைக்கப்பட்ட பயாசு தனக்குத்தானே சரிசெய்துகொண்டு பயாசுக்கு ஓரளவு நிலைத்தன்மையைக் கொடுக்குமென்றாலும், இது வெவ்வேறு வெப்பநிலைகளில் மாறுபடும் என்பது தெளிவு. ஏனெனில், வெப்பநிலைகள் மாறும்போது ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்புகளும் அதற்கேற்றாற்போல் மாறிவிடுகின்றன.

ஏற்புவாய்ச்சுற்றில் பளுவானது (load) ஓரளவுக்கு D·C மின்தடையுடையதாக இருந்தால் தன்பயாசு முறை மிகப்பொருத்தமாக அமையும். சில நேரங்களில் டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கிகளில் மின் நிலைமமோ அல்லது ஒரு மின்மாற்றியோ (transformer)

பளுவாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. மின்நிலைமத்திற்கும் மின்மாற்றியின் முதன்மைச் சுற்றுக்கும் (primary winding) $D \cdot C$ மின்தடை மிகமிகக் குறைவாயிருக்கும் என்பது தெளிவு. எனவே, பளுக்கோடானது மிகவும் செங்குத்தாக அமைந்துவிடும். சில சமயங்களில் மின்னோட்ட அச்சுக்கு இணையாகக்கூட அமைந்துவிடும். எனவே, இது சில சுற்றுகளில் தன்பயாசை அமைப்பதற்கு ஒரு வாய்ப்பைத் தீர்மானிக்கிறது.

பின்னூட்ட முறைகளால் நிலையான பயாசைப் பெறுதல்

நிலையான பயாசைப் பெற வேறொருமுறை பயன்படுத்தப் படலாம். இதில் மின்னோட்டமானது சுற்றில் பின்னூட்டப்பட்டு நிலைத்தமை பெறப்படுகிறது. இது 'பின்னூட்ட முறை' (feed back method) என்று வழங்கப்படுகிறது. படம் 10 16-ல் ஒரு பின்னூட்ட முறையில் அமைக்கப்பட்ட பயாசு பயன்படுத்தப் பட்டுள்ள சுற்றுப்படம் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 10·16
மின்னோட்டப் பின்னூட்டச்சுற்று

இதில் R_E என்ற மின்தடை மின்கலத்திற்கும் உமிழ்வாய்க்கு மிடையே இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. R_E மின்தடையின் முனைகளுக்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம், மின்னோட்டம் I_E ஐப் பொருத்து அமையும். ஒரு டிரான்சிஸ்டரில் உமிழ்வாய் மின்னோட்டமும், ஏற்புவாய் மின்னோட்டமும் ஏறத்தாழச் சமமாய் இருக்கிறதென்பது தெளிவு. ஆனால், அதே நேரத்தில் அடிவாய் மின்னோட்டம் I_B, உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தில் 5% அளவுதான் இருக்கும். எனவே, R_E முனைகளுக்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம்

ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் அமையும். இந்த மின்னழுத்தமானது உமிழ்வாய்ச் சந்தியைத் திருப்பிய பயாசில் இருத்தும்படி அதன் திசை அமையும். அதே நேரத்தில் R_L மின் தடை முனைகளிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் R_E மின்தடை முனை களிடையேயுள்ள மின்னழுத்தத்தைவிடச் சற்று மிகுதியாக இருக்கும்படி அமைக்கப்படுகிறது.

டிரான்சிஸ்டர் செயற்படும்போது அதன் வெப்பநிலை உயர லாம். வெப்பநிலை உயர்ந்தவுடன் உமிழ்வாய், ஏற்புவாய் மின் னோட்டங்களும் உயர்ந்துவிடும். உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் உயரும்போது R_E முனைகளிடையேயுள்ள மின்னழுத்தமும் உயர்ந்துவிடுகிறது. எனவே, உமிழ்வாய்ச் சந்தியில் உள்ள திருப்பிய பயாசு மிகுந்துவிடுகிறது. இதன் விளைவாக உமிழ்வாய்ச் சந்தியிலுள்ள மொத்த முன்னோக்கிய பயாசு குறைந்து அடிவாய் மின்னோட்டம் I_B -யும் குறைந்துவிடும். அடிவாய் மின்னோட்டம் குறைய அதற்கேற்றாற்போல் ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் குறையும். இவ்வாறு மின்னோட்டத்தில் பின்னூட்டச் செயலால் செயற் புள்ளி நிலைத்தன்மையுடையதாய் ஆக்கப்படுகிறது.

இவ்வாறு பின்னூட்ட அமைப்பில் பயாசு சுற்று அமைப்பது முன்கூறிய வழிகளைப்போல் எளிதாக இராது. ஏனெனில் R_E, R_C மின்தடைகளைப் பொருத்தமாகத் தேர்ந்தெடுக்க வேண்டும். படத்திலிருந்து இந்தச் சுற்றுக்கான சமன்பாட்டை எழுதலாம்.

$$V_{CC} = V_{CE} + R_C I_C - R_E I_E \qquad \dots 10{\cdot}6$$

இப்போது வழக்கத்தில் கொண்டுள்ள மின்னோட்டக் குறியீடு களின் நியதிப்படி,

$$I_B + I_C + I_E = O \qquad \dots 10{\cdot}7$$

I_B -மிகமிகக் குறைவாக இருப்பதால் இதை விட்டுவிடலாம்.

$$\therefore\ I_E = -I_C \qquad \dots 10{\cdot}8$$

இதைச் சமன்பாடு 10·6-ல் பதிலீடு செய்ய,

$$V_{CC} = V_{CE} + R_C I_C + R_E I_C \qquad \dots 10{\cdot}9$$

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C (R_C + R_E) \qquad \dots 10{\cdot}10$$

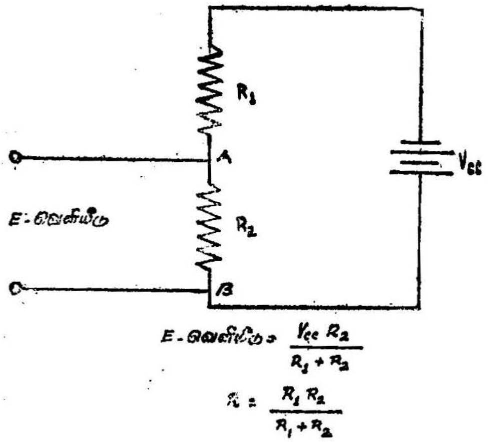
இது பளுக்கோட்டுக்கான சமன்பாடு ஆகும். R_E, R_C, V_{CC} ஆகியவை தெரிந்தால் பளுக்கோட்டை வரையலாம். I_C-க்கான மதிப்பைச் சமன்பாடு 10·7-லிருந்து பதிலீடு செய்தால்,

$$V_{CC} = V_{CE} - I_E\,(R_C + R_E) - I_B\,R_C \quad \ldots\ 10{\cdot}11$$

$$I_E = \frac{V_{CE} - V_{CC}}{R_C + R_E} - \frac{I_B\,R_C}{R_C + R_E} \quad \ldots\ 10{\cdot}12$$

அடுத்து, இந்தப் பின்னூட்டச் சுற்றுக்கான இணைமாற்றுச்சுற்றைப் பார்ப்போம். தேவனின் தேற்றத்தின்படி (Thevenin's Theorem) இணைமாற்றுச் சுற்றுப் படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் இருக்கும்.

இணைமாற்றுச் சுற்றிலிருந்து A,B புள்ளிகளிடையே மின்னழுத்தம்,



படம் 10.17
பின்னூட்டச்சுற்றின் இணைமாற்றுச் சுற்று

$$\frac{V_{CC}\,R_2}{R_1 + R_2} \quad \ldots\ 10.13$$

திறந்த சுற்றின் மின்தடை,

$$\frac{R_1\,R_2}{R_1 + R_2} \quad \ldots\ 10.14$$

அடுத்துள்ள படத்தில் எளிதாக்கப்பட்ட இணைமாற்றுச் சுற்று காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

இதன்படி உமிழ்வாய், அடிவாய்ச் சுற்றில்,

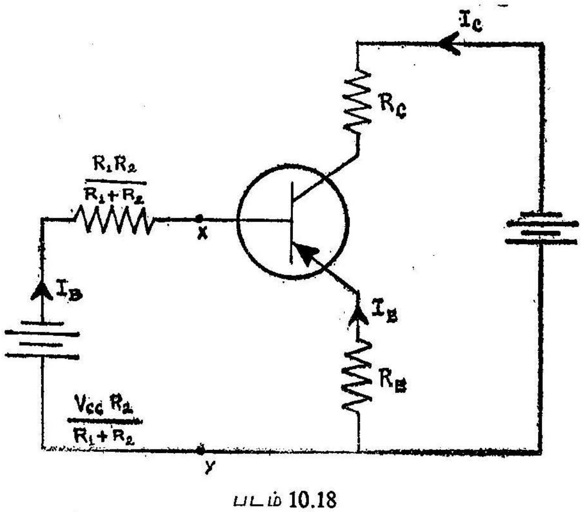
$$\frac{V_{CC}\ R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_1\ R_2}{R_1 + R_2}\ I_B - I_E\ R_E + V_{BE} \quad \ldots\ 10.15$$

V_{BE} ஐத் தள்ளிவிட,

$$\frac{V_{CC}\ R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_1\ R_2}{R_1 + R_2}\ I_B - I_E\ R_E \quad \ldots\ 10.16$$

சமன்பாடு 12-லிருந்து I_E-க்குப் பதிலீடு செய்ய,

$$V_{CE} = V_{CC}\left[1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_C + R_E}{R_E}\right] + I_B\left[R_E + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_C\ R_E}{R_E}\right] \quad \ldots\ 10.17$$



படம் 10.18
பின்னூட்டச் சுற்றின் எளிதாக்கப்பட்ட இணைமாற்றுச்சுற்று

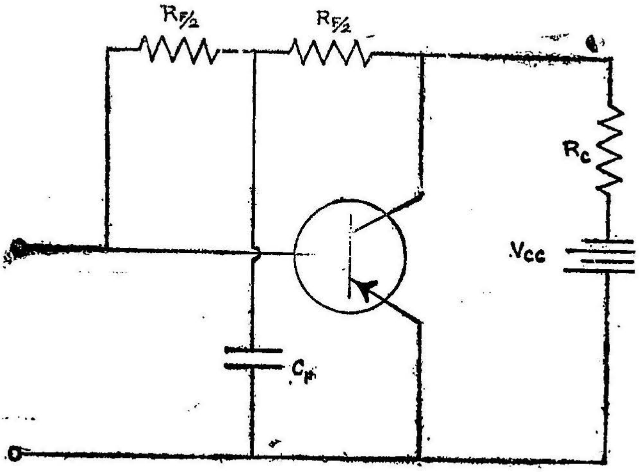
நடைமுறையில் உமிழ்வாய்ச் சுற்றிலுள்ள மின்தடை R_E எப்போதும் R_1, R_2 மின்தடைகளைவிட மிகமிகக் குறைவாயிருக்கும்படி தேர்ந்தெடுக்கப்படுவதால்,

$$V_{CE} = V_{CC}\left[1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R^C + R_E}{R_E}\right] + I_B\left[R_1 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_C + R_E}{R_E}\right]$$

இது மின்னோட்டத்தைப் பின்னூட்ட முறையில் கொடுத்து அமைக்கப்பட்ட பயாசு கோட்டின் சமன்பாடு ஆகும்.

பயாசு சுற்றுகளில் புறவழி மின்தேக்கிகளைப் பயன்படுத்தல்

ஒரு டிரான்சிஸ்டரைப் பொது உமிழ்வாய் அமைப்பில் பயாசு கொடுக்கும்போது அதில் மிகமிகக் குறைந்த அளவுதான் *a·c* மின்னழுத்தப் பெருக்கம் இருக்கும். ஏனெனில், *a-c* உள்ளீடுகொடுக்கும் போது வெளியீடு மின்னழுத்தத்தின் ஒரு பகுதி உள்ளீடுச்சுற்றுக்குப் பயாசு மின்தடைகள் வழியே பின்னூட்டப்படுகிறது. தன் பயாசு சுற்றில் ஏற்புவாய் மின்னழுத்தத்தின் *a.c* கூறு R_F மின்தடை வழியே உள்ளீடு அடிவாய்ச் சுற்றுக்குப் பின்னூட்டம் பெறுகிறது. இந்தப் பின்னூட்டத்தால் பெருக்கியின் பெருக்கு

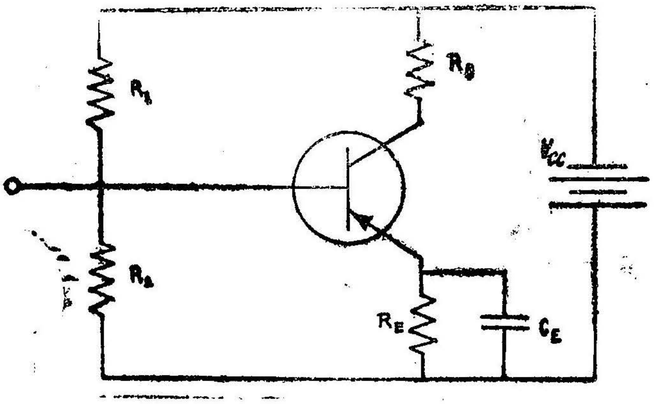


படம் 10.19
A.C மின்னழுத்தப் பின்னூட்டத்தைத் தவிர்க்கும் புறவழி மின்தேக்கி பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள சுற்று

திறன் மிகுந்த அளவு குறைந்துவிடக்கூடும். படம் 10.19-ல் இந்தப் பின்னூட்டத்தைத் தவிர்ப்பதற்கான ஒரு சுற்றமைப்புக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் R_F மின்தடை இரு சமபகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டுள்ளது. ஒவ்வொன்றின் மதிப்பும் $\frac{R_F}{2}$ ஆகும். இந்த இருபகுதிகளும் சந்திக்கும் புள்ளியில் ஒரு மிகுந்த தேக்கு திறனுடைய மின்தேக்கி C படத்தில் காட்டியுள்ளது

போல் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. மின்தேக்கியின் மற்றொரு முனை நில இணைப்புக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. மின்தேக்கியின் மதிப்பு ஏறத்தாழ 50 மைக்ரோ பாரட்கள் இருக்கும். இவ்வாறு தன்பயாசுடைய மின் சுற்றில் $a.c$ கூறு நிலத்திற்குச் செல்லுமாறு மின்தேக்கி புறவழி அமைத்துக்கொடுக்கிறது. எனவேதான், இந்த மின்தேக்கியை 'புறவழி மின்தேக்கி' (Bypass condenser) என்கிறோம்.

உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் பின்னூட்டமாகச் செலுத்தப் பட்டு அமைக்கப்பட்ட பயாசு சுற்றிலும், இந்த $a.c$ கூறு பெருக்கியின் பெருக்குதிறனை குறையும்படி செய்யும். இந்தச்



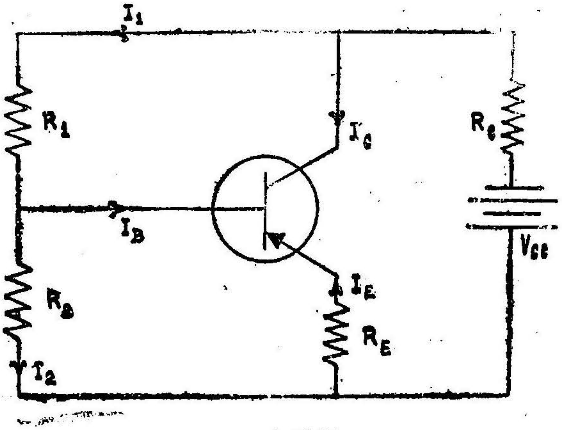
படம் 10·20

மின்னோட்டப் பின்னூட்டச்சுற்றில்.புறவழி மின்தேக்கி இணைப்பு

சுற்றில் உள்ளீடு மின்னழுத்தத்தில் $a.c$ கூறு இருப்பதாகக் கொள்வோம். R_E மின்தடை வழியே உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் செல்லும்போது அதன் $a.c$ கூறு R_E-ன் முனைகளுக்கிடையே ஒரு மின்னழுத்தத்தைத் தோற்றுவிக்கும். இது அடிவாய் மின்னோட் டத்தில் உள்ள $a.c$ கூறின் அளவை மாற்றியமைத்துவிடும். எனவே, பெருக்கியின் பெருக்குதிறன் ஓரளவுக்குக் குறைந்து விடும். இதைத்தடுப்பதற்காக C_E என்ற மின்தேக்கி R_E மின் தடைக்கு இணையாகப் படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் இணைக்கப் படுகிறது. $a.c$ மின்னழுத்தமானது நிலத்திற்குச் செல்ல இந்த மின்தேக்கி ஒரு புறவழி அமைத்துக்கொடுக்கிறது. இதன் மதிப்பும் 50 மைக்ரோ பாரட்கள் இருக்கலாம்.

நிலைத்தன்மை எண் (Stability factor)

ஏற்புவாய்ச் சுற்றிலுள்ள I_{RC}-என்ற திருப்புதிசை மின்னோட்டமானது பெரிதும் வெப்பநிலையைச் சார்ந்திருக்கிறது என்று முன்பே விளக்கப்பட்டது. ஆகவே, வெப்பநிலை மாறும்போது இந்த மின்னோட்டம் I_{RC}-மாறுதலடைந்து பயாசு சுற்று நிலைத்தன்மையற்றதாக ஆகும்படி செய்துவிடுகிறது. நிலைத்தன்மையைப் பெறவேண்டுமானால் இந்த மின்னோட்டம் I_{RC}-யில் மாற்றம் தோன்றும்போது அதற்கேற்றவாறு I_C-யில் தோன்றும் மாற்றம் மிகச்சிறியதாய் இருக்கும்படி சுற்றுகள் அமைக்கவேண்டும். எனவே, நிலைத்தன்மை எண் என்ற ஒன்றை வரையறுத்துக் கொள்ளலாம். இது ஏற்புவாய்ச்சுற்றில் தோன்றும் மின்னோட்ட மாற்றத்திற்கும் (சுழிப்பயாசில்) திருப்புதிசை மின்னோட்டத்தில் தோன்றும் மாற்றத்திற்குள்ள தகவே, 'நிலைத்தன்மை எண்' **(Stability factor)** எனப்படுகிறது.



படம் 10·21

தன்பயாசு பெற்ற பின்னூட்டச் சுற்று

$$S = \frac{\partial I_C}{\partial I_{RC}} \qquad \ldots 10.19$$

டிரான்சிஸ்டர் பயாசு சுற்றுகள் அமைக்கப்படும்போது இந்த நிலைத்தன்மை எண்-S மிகமிகச் சிறியதாயிருக்கும்படி செய்யப்படுகிறது. இப்போது நடைமுறையில் பயன்படுத்தப்படும் இரு சுற்றுகளுக்கு நிலைத்தன்மை எண் எவ்வளவு என்று கணக்கிடலாம்.

தன் பயாசு அமைப்பில் (பின்னூட்டம் பெற்ற சுற்றின்) நிலைத்தன்மை எண்

படத்தில் ஒரு தன் பயாசில் மின்னோட்டம் பின்னூட்டப் பெற்ற ஒரு டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இந்தச் சுற்றிலிருந்து கீழ்க் கண்ட சமன்பாடுகளை எழுதலாம்.

$$I_C + I_E + I_B = O \qquad \dots 10.20$$

$$I_C = \beta . I_B + (\beta + 1) I_{RC} \qquad \dots 10.21$$

$$V_{CC} = I_L R_C + I_1 R_1 + I_2 R_2 \qquad \dots 10.22$$

$$I_2 R_2 = V_{BE} - I_E R_E = - I_E R_E \qquad \dots 10.23$$

V_{BE}-ன் மதிப்பு 0.1 வோல்ட் அளவில் மிகச் சிறியதாக இருப்பதால்,

$$I_C + I_1 = I_L \qquad \dots 10.24$$

$$I_B + I_2 = I_1 \qquad \dots 10.25$$

எனவே, ஏற்புவாய்ச் சுற்றுக்கான சமன்பாடு,

$$V_{CC} = I_L R_C + V_{EC} - I_E R_E \qquad \dots 10.26$$

ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் I_c-யுடன் ஒப்பிடப்படும்போது I_1-ம் I_B-யும் மிகக் குறைவாய் இருப்பதால்,

$$I_L = I_c + I_1 = I_c \text{ என்றும்} \qquad \dots 10.27$$

$$I_E = - I_c - I_B = - I_c \text{ என்றும்} \qquad \dots 10.28$$

எழுதலாம். எனவே,

$$V_{cc} = V_{CE} + I_c (R_E + R_c) \qquad \dots 10.29$$

இது பளுக்கோட்டுக்கான சமன்பாடு ஆகும்.

I_L-க்கான மதிப்பை, சமன்பாடு 10.22-ல் 10.24-ஐப் பதிலீடு செய்ய

$$\begin{aligned} V_{cc} &= (I_c + I_1) R_c + I_1 R_1 + I_2 R_2 \\ &= I_c R_c + I_2 R_2 + I_1 (R_1 R_c) \qquad \dots 10.30 \end{aligned}$$

சமன்பாடு 10.25-லிருந்து I_1-க்குப் பதிலீடுசெய்ய,

$$V_{CC} = I_C R_C + I_2 (R_1 + R_2 + R_C) + I_B (R_1 + R_C) \quad \ldots 10.31$$

I_2-க்கு சமன்பாடு 10.23-லிருந்து பதிலீடு செய்ய,

$$V_{CC} = I_C R_C + I_B (R_C + R_1) - \frac{I_E R_E}{R_2} (R_1 + R_2 R_C) \quad \ldots 10\cdot 32$$

சமன்பாடு 10·20-லிருந்து I_E-க்கான மதிப்பைப் பொருத்த,

$$V_{CC} = I_C R_C + I_B (R_C + R_1) + (I_B + I_C) \frac{R_E}{R_2} (R_1 + R_2 + R_C) \quad \ldots 10\cdot 33$$

$\frac{R_E}{R_2} (R_1 + R_2 + R_C) = x$ என்று கொண்டு எழுதினால்,

$$V_{CC} = I_C (R_C + x) + I_B (R_C + R_1 + x)$$

I_B-க்கான மதிப்பைச் சமன்பாடு 10·21-லிருந்து பதிலீடு செய்ய,

$$V_{CC} = I_C [R_C + x] + \left[\frac{I_C - (\beta + 1) I_{RC}}{\beta} \right] (R_C + R_1 + x)$$

இதை மாற்றி அமைக்க,

$$\beta V_{CC} + (\beta + 1) I_{RC} [R_1 + R_C + x]$$

$$= I_C \left[R_1 + (\beta + {}_1) (R_C + x \right]$$

$$I_C = \frac{\beta V_{CC} + (\beta + 1) I_{RC} [R_1 + R_C + x]}{R_1 + (\beta + 1) [R_C + x]}$$

β, $(\beta + 1)$ ஆகியவற்றின் மதிப்புகளை α-வில் பதிலீடு செய்ய,

$$I_C = \frac{\alpha V_{CC} + I_{RC} [R_1 + R_C + x]}{R_1 (1 - \alpha) + R_C + x}$$

$$I_C \left[R_1 (1 - \alpha) + R_C + x \right] = \alpha V_{CC} + I_{RC} \left[R_1 + R_C + x \right] \quad \ldots 10\cdot 35$$

இருபுறமும் வகைப்படுத்த,

$$\partial I_C [R_1 (1-\alpha) + R_C + x] = \partial I_{RC} [R_1 + R_C + x]$$

நிலைத்தன்மை எண்,

$$S = \frac{\partial I_C}{\partial I_{RC}} = \frac{R_1 + R_C + x}{R_1 (1-\alpha) + R + x} \quad \ldots 10.36$$

x-க்கு அதன் மதிப்பைப் பிரதியிட,

$$S = \frac{R_1 + R_C + \frac{R_E}{R_2}(R_1 + R_2 + R_C)}{R_1 (1-\alpha) + R_C + \frac{R_E}{R_2}(R^2 + R_2 + R_C)} \quad \ldots 10.37$$

இதுதான் பின்னூட்டம் பெற்ற சுற்றில் தன்பயாசு அமைப்புக் கொண்ட சுற்றின் நிலைத்தன்மை ஆகும்.

மின்னோட்டம் பின்னூட்டப்படும் சுற்றுகளில் நிலைத்தன்மை எண் (current feed back circuit)

மின்னோட்டம் பின்னூட்டப்படும் சுற்றுகளில் நிலைத்தன்மை எண்ணைப் பெறப் படத்தில் காட்டியுள்ள டிரான்சிஸ்டர் சுற்றை எடுத்துக்கொள்வோம். இதில் நடைமுறை வழக்கப்படி டிரான்சிஸ்டருக்குள் நுழையுல் மின்னோட்டங்கள் I_B, I_E, I_C ஆகும். இவற்றின் கூட்டுத்தொகை சுழியாகும்.

$$I_B + I_C + I_E = O$$

$$I_C = -[I_E + I_B] \quad \ldots 10.38$$

ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் I_C-ஐ கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.

$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{RC} \quad \ldots 10.39$$

படத்திலிருந்து,

$$I_1 = I_2 + I_B \quad \ldots 10.40$$

$$V_{CC} = I_2 R_2 + I_1 R_1 \quad \ldots 1041$$

$$V_{CC} = V_{BE} - I_E R_E + I_1 R_1 \qquad \ldots 10.42$$

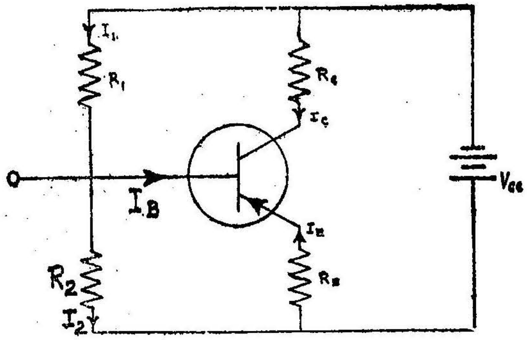
V_{BE} -மிகச் சிறியதாகையால் இதை விட்டுவிடலாம்,

$$V_{cc} = - I_E R_E + I_1 R_1$$

$$V_{cc} = I_1 R_1 - I_E R_E \qquad \ldots 10.43$$

சமன்பாடு 10. 40-லிருந்து I_1-க்குப் பதிலீடு செய்ய,

$$V_{cc} = I_2 R_1 + I_B R_1 - I_E R_E \qquad \ldots 10.44$$



படம் 10·22
நிலைத்தன்மை எண் பெறுவதற்கான சுற்று

$I_2 R_2 = - I_E R_E$ ஆகையால்,

$I_2 = - \dfrac{I_E R_E}{R_2}$ எனப் பதிலீடுசெய்ய,

$$V_{cc} = - \frac{R_1 I_E R_E}{R_2} + I_B \cdot R_1 - I_E R_E$$

$$= I_B R_1 - I_E \left[R_E + \frac{R_E R_1}{R_2} \right] \qquad \ldots 10.45$$

$\dfrac{R_E R_1}{R_2} = x$ - என்று கொண்டால்,

$$V_{CC} = I_B R_1 - I_E [R_E + x] \qquad \ldots 10.46$$

$I_E = -(I_C + I_B)$ ஆகையால்,

$$V_{CC} = I_B R_1 + (I_C + I_B)[R_E + x] \qquad \ldots 10{\cdot}47$$
$$= I_B[R_1 + R_E + x] + I_C[R_E + x]$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - I_C(R_E + x)}{(R_1 + R_E + x} \qquad \ldots 10{\cdot}48$$

ஏற்புவாய் மின்னோட்டம்,

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{RC} \qquad \ldots 10{\cdot}49$$

எனத்தெரியும். எனவே, 10·48, 10·49 சமன்பாடுகளிலிருந்து,

$$I_C = \beta\left[\frac{V_{CC} - I_C(R_E + x)}{R_1 + R_E + x}\right] + (\beta+1) I_{RC}$$

$$I_C[R_1 + R_E + x] = \beta[V_{CC} - I_C(R_E + x)] + (\beta+1) \cdot I_{RC}[R_1 + R_E + x]$$

$$I_C[R_1 + R_E + x + \beta(R_E + x) = \beta V_{CC} + (\beta+1) I_{RC}[R_1 + R_E + x] \qquad \ldots 10{\cdot}50$$

இருபுறமும் வகைப்படுத்த,

$$[R_1 + R_E + x + \beta(R_E + x)]\,\delta I_C = (R_1 + R_E + x)(\beta + 1)\,\delta I_{RC} \qquad \ldots 10{\cdot}51$$

$$\frac{\delta I_C}{\delta I_{RC}} \frac{(R_1 + R_E + x)(\beta + 1)}{R_1 + R_E + x + \beta(R_E + x)}$$

$$= \frac{[R_1 + R_E + x](1 + \beta)}{R_1 + (R_E + x)(1 + \beta)}$$

$$= \frac{[R_1 + R_E + x]}{\frac{R_1}{\beta - 1} + (R_E + x)}$$

$$= \frac{R_1 + R_E + x}{(1-\alpha) R_1 + R_E + x} \qquad \left[\therefore (1-\alpha) = \frac{1}{1+\beta}\right]$$

x-ன் மதிப்பைப் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{\delta I_C}{\delta I_{RC}} = \frac{R_1 + R_E + \frac{R_1 R_E}{R_2}}{1-\alpha\ R_1 + R_E + \frac{R_1\ R}{R_2}}$$

$$= \frac{R_1 R_2 + R_2 R + R_1 R_E}{R_1 R_2\ (1-\alpha) + R_2 R_E + R_1 R_E}$$

$$= \frac{R_1 R_2 + R_E\ (R_1 + R_2)}{R_1\ R_2\ (1-\alpha) + R_E\ (R_1 + R_2)}$$

மின்தடை R_2-உடன் ஒப்பிடப்படும்போது R_1-ன் மதிப்பு மிகமிக அதிகமாயிருக்கும்படி பயாசு சுற்றுகள் அமைக்கப்படுகின்றன. ஏறத்தாழ $R_1 = 10\ R_2$ ஆக இருக்கும்படி அமைக்கப்படுகிறது. எனவே, R_2-ஐ விட்டுவிட,

$$\frac{\delta I_C}{\delta I_{RC}} = \frac{R_1 R_2 + R_E R_1}{R_1 R_2 (1-\alpha) + R_E R_1}$$

$$= \frac{R_E + R_2}{R_E + R_2\ (1-\alpha)}$$

எனவே, இந்த மின்னூட்டம் பெற்ற சுற்றில் நிலைத்தன்மை எண்,

$$S = \frac{R_E + R_2}{R_E + R_2\ (1-\alpha)}$$ ஆகும்.

வினாக்கள்

1. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்புகள் யாவை? அவற்றைக் காண வரைகோடுகள் எவ்வாறு வரையப்படுகின்றன?

2. ஒரு பொது அடிவாய் அமைப்பில் சிறப்பியல்பு வரைகோடுகள் எவ்வாறு இருக்கும் என்பதைப் படம் போட்டு விளக்கு.

3. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் 3 வெவ்வேறு அமைப்புகள் யாவை? இவை ஒன்றுக்கொன்று செயல் திறனில் எவ்வாறு மாறுபடுகின்றன?

4. டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுகளில் பயாசுகள் எவ்வாறு கொடுக்கப் படுகின்றன. சுற்றுப்படம் வரைந்து விளக்குக.

5. ஒரு பொது உமிழ்வாய் அமைப்பில் நிலையான பயாசு எவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்படுகிறது? தானே அமையும் பயாசு அல்லது தன் பயாசு என்றால் என்ன? விளக்கி எழுது.

6. டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுகளில் பின்னூட்ட முறைகளால் நிலையான பயாசைத் தோற்றுவிக்க முடியுமா? முடியும் என்றால் இதன் மேம்பாடுகளை எழுது.

7. ஒரு தன் பயாசு அமைப்பில் (பின்னூட்டச் சுற்றில்) நிலைத்தன்மை எண்ணுக்கு ஒரு கோவையைக் கண்டுபிடி.

8. மின்னோட்டப் பின்னூட்டம் என்றால் என்ன? அதற்கான சுற்றுப்படம் தந்து விளக்கு. நிலைத்தன்மை எண்ணுக்கு ஒரு சமன்பாட்டை எழுது.

9. ஒரு பொது அடிவாய் *p-n-p* ஜெர்மேனியம் டிரான்சிஸ்டரில் ஏற்புவாய் நேர் மின்னோட்டம் 5 மில்லி ஆம்பியராகவும், ஏற்புவாய் மின்னழுத்தம் 10 வோல்ட்டாகவும் இருக்கும் போது அதன் வெளியீடு கடத்துதிறன் என்ன? [$N_D = 10^{15}$/ செ^{3}மீ^{3}, $w_0 = 6 \times 10^{-4}$ செ.மீ.]

10. ஒரு பொது உமிழ்வாய் டிரான்சிஸ்டர் அமைப்பில் $\delta = 1$ எனில் உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்திறனைக் கணக்கிடு. γ = ன் மதிப்பு ஏறத்தாழ 1 ஆக இருக்கும்போது இந்த *n-p-n* டிரான்சிஸ்டருக்கு,

$$\beta = \frac{D_n}{D_p} \cdot \frac{\int_0^w N_D dn}{\int_0^w N_A dn}$$

எனக் காண்பி.

11. ஒரு டிரான்சிஸ்டரில் ஏற்புவாயும், ஒரு பக்கம் மிகுதிக் கலப்புடையதாய் இருக்கிறது. மறுபக்கத்தில் தூசுச் செறிவு

நேரியலாக $N = Bx$ என்ற கணக்கில் உயரும்போது அதன் துளையிடு மின்னழுத்தத்தைக் கணக்கிடு.

12. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் α மதிப்பு எல்லா மின்னோட்டங்களுக்கும், மின் அழுத்தங்களுக்கும் மாறுதிருக்கிறது. இது பொது உமிழ்வாய் அமைப்பாகப் பயன்படுத்தப்படும்போது ஏற்பு வாய் மின்னோட்டம் $I_{CEO} = \frac{I_{CBO}}{1-\alpha}$ எனக் காண்பி. இதில் அடிவாய், திறந்த சுற்றுடையதாய் இருக்கும்.

13. ஒரு p-n-p டிரான்சிஸ்டரின் செயலுறு அடிவாய் அகலம் 0.6×10^{-4} செ.மீ. ஆகும். அடிவாய்ப் பகுதியின் மின்தடை 2 ஓம் செ.மீ. உமிழ்வாய், ஏற்புவாய்ப் பகுதிகளின் மின் தடைகள் 0.001 ஓம் —செ.மீ. ஆகும். உமிழ்வாய்ப் பகுதியின் தடிமன் 1.5×10^{-4}செ.மீ. ஆகும். சிறுபான்மை ஊர்தியின் வாழ்வு நேரம் 36μ விநாடிகள். உமிழ்வாயில் 0.01μ விநாடிகள். இதன் மின்னோட்டப் பெருக்கம், அடிவாய் வெட்டு அதிர்வெண் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடு.

14. ஒரு n-p-n சிலிக்கான் டிரான்சிஸ்டரின் செயலுறு அடிவாய் அகலம் 10^{-4} செ.மீ. ஊர்தி அடர்த்தி 10^{-16}/செமீ^{3} ஆக இருந்தால் அடிவாய் இடப்பெயர்ச்சி எண் 0.975 ஆக இருக்க, ஊர்திகளின் வாழ்வு நேரம் அடிவாய்ப் பகுதியில் எவ்வளவு இருக்க வேண்டும்?

11. ஹால் விளைவு

(Hall Effect)

ஒரு குறைகடத்திப் பொருள் n-வகையா அல்லது p-வகையா என்று அளந்தறிவது சில நேரங்களில் மிக முக்கியமானதாக இருக்கும். அந்தப் பொருளின் மின் கடத்துதிறனை அளந்தறிந்தால் மட்டும் இதைத் தீர்மானிக்க முடியாது. ஏனெனில், மின் கடத்துதிறன் அளவீடுகளிலிருந்து அது எலக்ட்ரானால் ஏற்பட்டதா? அல்லது நேர் மின்னூட்டத் துளைகளினால் ஏற்பட்டதா? என அறிந்துகொள்ள முடியாது. ஹால் விளைவைப் பயன்படுத்தி நாம் இந்த இருவகைப் பொருள்களையும் வேறுபடுத்திக் காண முடியும். அதனோடுகூட இந்த விளைவைப் பயன்படுத்தி மின்னூட்ட ஊர்திகளின் செறிவையும் கணக்கிட இது உதவும். குறைகடத்திப் பொருளின் கடத்துதிறனை அளந்தறிந்துவிட்டால் அதனின்றும் ஊர்திகளின் நகர்வுதிறனையும் கணக்கிடலாம்.

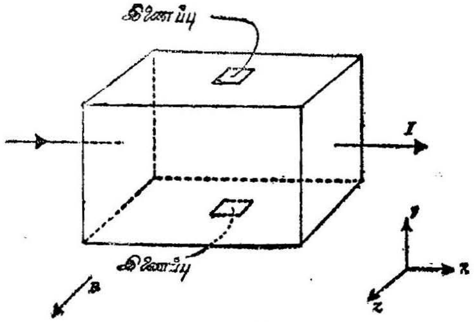
ஹால் என்ற அறிவியல் மேதை 1897ஆம் ஆண்டு இந்தப் புகழ் பெற்ற ஹால் விளைவைக் கண்டுபிடித்தார். ஒரு குறைகடத்திப் பொருள் வழியாக (செவ்வகப் பாளமாக அமைந்த) ஒரு திசையில் மின்னோட்டம் ஒன்று செலுத்தப்படுவதாகக் கொள்வோம். இந்த மின்னோட்டத்தின் திசைக்குக் குறுக்காகச் செங்குத்துத் திசையில் ஒரு வலிமையான காந்தப்புலம் இருக்குமாறு செய்யப்படுகிறது. இப்போது மின்னோட்டத்திசை, காந்தப்புலத்திசை ஆகிய இரு திசைகளுக்கும் செங்குத்தான மூன்றாவது திசையில் ஒரு சிறிய மின்னழுத்த வேறுபாடு தோன்றக் காணலாம். இந்த விளைவுதான் 'ஹால் விளைவு' எனப்படுகிறது. ஹால் விளைவு, ஒரு குறைகடத்திப் பொருளின்மீது ஒரு காந்தப்புலத்தின் செயற்பாட்டை விளக்குகிறது. ஒரு நிலைக் காந்தப்புலம் (static magnetic field) நகராதிருக்கும் எந்த மின்னூட்டத்தின்மீதும் எந்தவித விளைவையும் தோற்றுவியாது.

படம் 11·1-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் மின்னோட்டமானது x-திசையில் செலுத்தப்படுகிறது. B-பாய்வுச் செறிவு (flux density) உள்ள ஒரு காந்தப்புலம் $+Z$ திசையில் கொடுக்கப்படுகிறது.

அப்போது ஹால் விளைவு மின்னழுத்தமானது $+Y$ திசையில் தோன்றும். குறைகடத்திப் பொருளின் மேல் கீழ்ப் புறங்களில் இணைப்புகள் ஏற்படுத்தி இந்தச் சிறிய மின்னழுத்தத்தை ஒரு $D \cdot c$ வெற்றிடக்குழல் வோல்ட் மீட்டரைக் கொண்டு அளந்தறியலாம்.

ஹால் விளைவைப் பின்னர் வரும் படத்தைக் கொண்டு (படம் 11·2) விளக்கலாம்.

ஒரு காந்தப்புலத்தில் அதன் திசைக்குக் குறுக்காக எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் ஓடுவதாகக் கொள்வோம். இப்போது இந்த இருவகை ஊர்திகளின்மேல் விசைகள் செயற்படும். இந்த விசைகள் எதிரெதிர்த் திசைகளில் இருக்கும். இதனுல் எலக்ட்ரான் ஒரு புறமும் துளை எதிர்ப்புறமும் ஒதுக்கப்படும். n-வகைக் குறை



படம் 11·1
ஹால் விளைவை விளக்கும் படம்

கடத்திப் பொருள் காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்படுவதாகக் கொள் வோம். இதில் மின்னோட்டம் முழுவதும் எலக்ட்ரான்களின் ஓட்டத்தால்தான் ஏற்படுகிறது. எலக்ட்ரான்கள் வலமிருந்து இடமாக ஓடுவதாகக் கொள்வோம். இதனுல் மின்னோட்டம் இடமிருந்து வலமாக ஓடுவதாகக் கொள்ளலாம்.

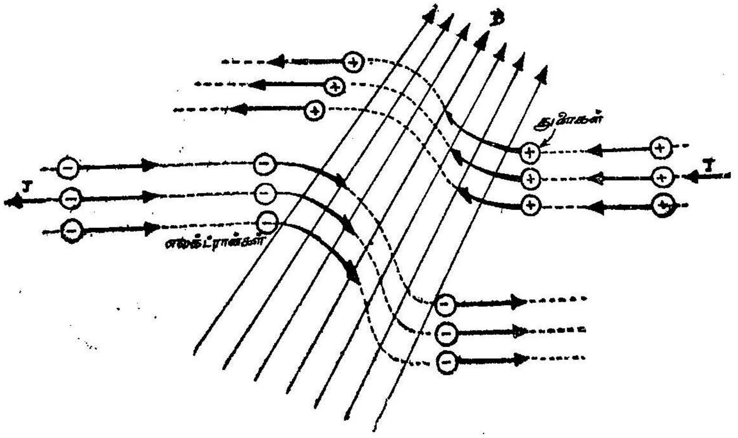
காந்தப்புலத்திற்குக் குறுக்கான திசையில் எலக்ட்ரான்களின் வேகம் v-எனக் கொள்வோம். இதனுல் ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானும் கீழ்நோக்கிய திசையில் ஒரு விசையை உணரும். இந்த விசையின் எண்ணளவு Bqv—ஆகும். q-எலக்ட்ரான்களின் மின்னூட்டம். இந்த விசையில் எல்லா எலக்ட்ரான்களும் கீழ்நோக்கி ஒதுக்கப் பட்டுக் குறைகடத்திப் பாளத்தின் அடிப்பகுதியில் குவிகின்றன. இதன் விளைவாகக் குறைகடத்திப் பாளத்தின் இருபக்கங்க

ளிடையே கீழிருந்து மேலாக ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாடு தோன்றுகிறது. கீழ்ப்பக்கம் எதிர்க்குறியாகவும் மேல்பக்கம் நேர்க்குறியாகவும் இருக்கும். இந்த மின்னழுத்த வேறுபாடு ஒரு மின்புலம் E-ஐத் தோற்றுவிக்கும். இதன் பயனாக எலக்ட்ரான்மீது மேல் நோக்கிய திசையில் ஒரு விசை இருக்கும். இந்த விசையின் எண்ணளவு qE ஆகும். சமநிலையில் இருக்க இந்த இரு விசைகளும் சமமாய் இருக்கவேண்டும்.

$$q.\,E = B.q.\,v$$

$$E = B.\,v$$

இந்த E ஹால் விளைவால் Y-திசையில் தோற்றுவிக்கப்படும் மின்புலம் ஆகும். E-அதன் வலிமை. Ey-என்பது Y-திசையில் மின்னழுத்த வேறுபாட்டைக் குறிக்கும். இது 'ஹால் மின்னழுத்தம்' (Hall voltage) என வழங்கப்படுகிறது.



படம் 11·2
காந்தப்புலத்தில் ஊர்திகள் விலகி ஓடுதல்

$\left(\frac{E}{BJ}\right)$ -என்ற தகவு 'ஹால் குணகம்' (Hall co-efficient) என்று கூறப்படுகிறது. R_n-என்பது ஹால் குணகம் என்று கொண்டால்,

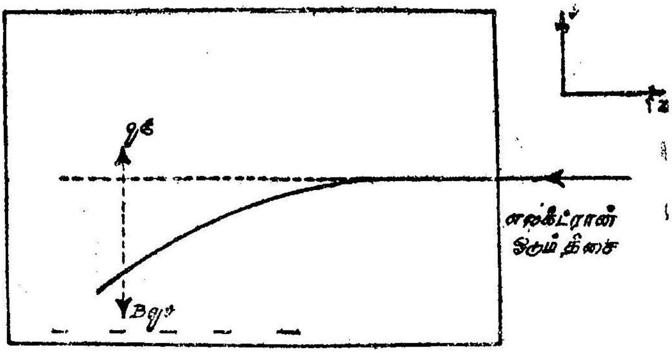
$$R_n = -\frac{E}{BJ}$$

J-என்பது எலக்ட்ரானின் மின்னோட்டச்செறிவு ஆகும். எதிர்க்குறி மின்புலம் $-Y$ திசையிலிருப்பதைக் குறிக்கிறது.

$$J = nqv \text{ ஆகையால்,}$$

$$R_n = -\frac{E}{BJ} = -\frac{Bv}{Bnqv} = -\frac{1}{nq}$$

எனவே, B, J, E-ஆகியவற்றைப் பரிசோதனைமூலம் அளந்தறியலாம். இவற்றைக்கொண்டு கடைசியாக எழுதப்பட்ட சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி ஹால் குணகம் R_n, ஊர்திச் செறிவு n-ஆகியவற்றைக் கணக்கிடலாம்.



படம் 11·3
n-வகைக் குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான்களின் இயக்கம்

படம் 11.4 இதேபோன்ற p-வகைக் குறைகடத்தியில் தோன்றுவதைக் காட்டுகிறது. இந்த p-வகைக் குறைகடத்தியில் மின்னோட்டம் முழுவதும் நேர் மின்னூட்டம் கொண்ட துளைகளினால்தான் தோன்றுகிறது. மின்னோட்டம் இடமிருந்து வலமாகச் செல்கிறதாகக் கொள்வோம். இதே திசையில்தான் துளைகளும் ஓடுகின்றன. இப்போது காந்தப்புலத்தின் விளைவால் துளைகள் ஒரு கீழ் நோக்கிய விசையை உணரும். இதனால் எல்லா ஓடும் துளைகளும் கீழ்ப்புறம் நோக்கி விலக்கமடைந்து ஒதுக்கப்படும். இவை குறைகடத்திப் பாளத்தின் கீழ்ப்பகுதியில் ஒதுங்கிக் குவிகின்றன. துளை ஊர்திகள் நேர்மின்னூட்டம் பெற்று இருப்பதால் குறைகடத்திப் பாளத்தின் கீழ்ப்பகுதி நேர் மின்னூட்டமுள்ளதாக மாறி ஒரு மின்னழுத்த வேறுபாடு தோன்றுகிறது. இதன் காரணமாக ஒரு மின்புலம் தோற்றுவிக்கப்படும். இவ்வாறு ஹால் விளை

வால் தோற்றுவிக்கப்படும் மின்புலத்தின் வலிமையை E-என்று கொண்டால் ஒவ்வொரு துளையும் உணரும் விசை qE-ஆகும். சமநிலையிலிருக்க இந்த விசை காந்தப்புல விசைக்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும்.

$$\therefore Eq = Bqv$$

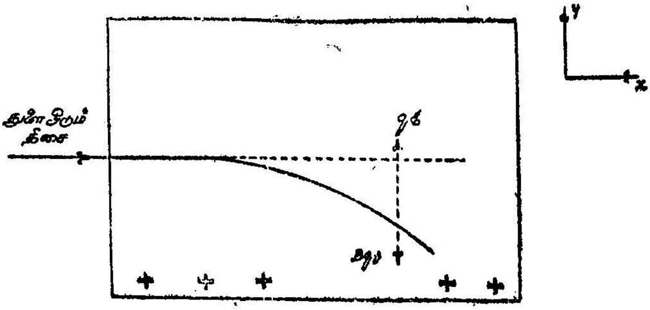
$$E = Bv$$

இப்போது R_P-என்பதை துளைகளுக்கான ஹால் குணகம் என்று கொண்டால்,

$$R_p = \frac{E}{BJ}$$

இங்கு J-என்பது மின்னோட்டச் செறிவு. $J = Pqv$

$$\therefore R_p = \frac{Bv}{BPqv} = \frac{1}{Pq}$$



படம் 11·4

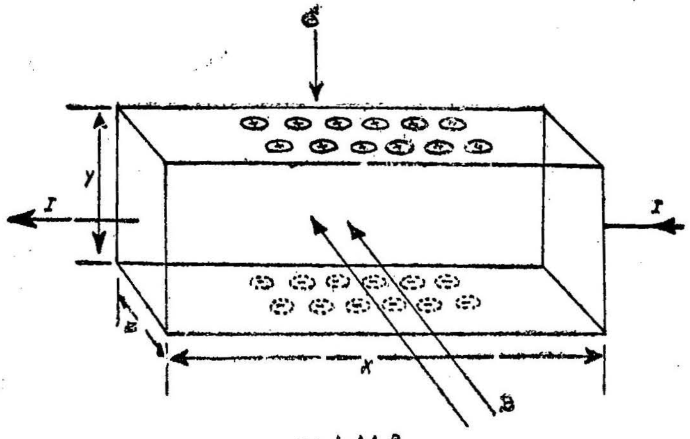
P-வகைக் குறைகடத்தியில் நேர் மின்னூட்டத் துளைகளின் இயக்கம்

P-என்பது நேர்மின்னூட்டத் துளைகளின் செறிவு ஆகும். படம் 11·5 இவ்வாறு எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் ஹால் விளைவினால் ஒதுங்குவதைக் காட்டுகிறது. ஹால் மின்னழுத்தத்தைப் பரிசோதனைமூலம் அளக்கலாம். ஹால் மின்னழுத்தத்தின் குறியிலிருந்து குறைகடத்திப் பொருளில் எந்த வகை ஊர்தி பெரும்பான்மையாக இருக்கிறது என்பதைக் கண்டறியலாம். இந்த ஹால் மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் எண்ணளவிலிருந்து மின்னூட்ட ஊர்திகளின் செறிவைக் கணக்கிடலாம்.

மேலே தருவிக்கப்பட்ட கோவைகள், மின்னூட்ட ஊர்திகள் ஆற்றல் பட்டைகளில் ஈர்ப்பு விசைகளின்றி இருக்கும்போதும், அவை ஒரு மாறு நகர்வு வேகம் v-யுடன் செல்லும்போதும் தாம் பொருத்தமாக இருக்கும். ஆனால், குறைகடத்திப் பொருள்களில் இந்த இரு நிபந்தனைகளும் இருக்கமுடியாது. ஆகவே, பல்வேறு பரிசோதனைகளின் முடிவுகள் பகுப்பாய்வு செய்யப்பட்டுக் கீழ்க் கண்ட 'செயல்முறை வாய்பாடு' (working formula) தருவிக்கப் பட்டுள்ளது.

$$R_n = -\frac{3\pi}{8nq} = -\frac{1{\cdot}18}{nq}$$

$$R_p = \frac{3\pi}{8Pq} = \frac{1{\cdot}18}{Pq}$$



படம் 11.5
ஹால் விளைவை அளக்கப் பயன்படுத்தப்படும் குறைகடத்தி அமைப்பு

n-வகைக் குறைகடத்தியில் கடத்துதிறன்,

$\sigma_n = nq\,\mu_n$ என்ற வாய்பாடால் தரப்படும். P-வகைக் குறை கடத்தியில் கடத்துதிறன்,

$\sigma_p = Pq\mu_p$ ஆகும்.

எனவே, இந்த இரு சமன்பாடுகளையும் பயன்படுத்தி மின்னூட்ட ஊர்திகளின் நகர்வு திறன்கள் μ_n, μ_p ஆகியவற்றைக் காணலாம்.

$$\mu_n = \frac{\sigma_n}{nq} = -\sigma_n R_n$$

$$\mu_p = \frac{\sigma_p}{Pq} = \sigma_p R_p$$

ஹால் குணகங்களும், கடத்துதிறன்களும் தெரிந்தால் நகர்வு திறனைக் கணக்கிடலாம்.

இவ்வாறு ஹால் விளைவு அளவீடுகளிலிருந்து கணக்கிடப்பட்ட நகர்வுதிறன் முற்றிலும் சரியாக இருக்கும் என்று கூறமுடியாது. ஏனெனில், ஊர்திகள் ஆற்றல் பட்டைகளில் வெவ்வேறு ஆற்றல் மட்டங்களில் இருப்பதால் அவற்றின் வேகங்கள் வெவ்வேறாக இருக்கலாம். ஒரு குறிப்பிட்ட வலிமையுடைய காந்தப்புலத்தில் வேகம் மிகுந்த ஊர்திகள் மிகுதியாக விலக்கம் அடையும். ஒரு ஊர்தியின் நகர்வுதிறன் ஊர்தியின் வேகத்தைச் சார்ந்திருக்கிறது என்பது தெளிவு. எனவே, வலிமை மிகுந்த காந்தப்புலம் செயற் படும்போது ஹால் குணகம் R_n அல்லது R_p கணக்கிடப்பட்டு அதி லிருந்து நகர்வுதிறன் μ_n அல்லது μ_p கணக்கிடப்பட்டால் அது சரியாக இருக்கலாம். ஏனெனில், வலிமை மிகுந்த காந்தப் புலத் தில் எல்லா ஊர்திகளும் ஏறத்தாழ மிகுந்த விலக்கமடைந்து தனித்தனியாக ஒதுங்கிவிட வாய்ப்பு அதிகமிருக்கிறது.

எளிய கலப்புடைய குறைகடத்திகளில் ஹால் குணகம் R-க்கு ஒரு விளக்கம் தருவது மிகக் கடினமானது. எளிய கலப்புடைய குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான் துளை ஆகிய இருவகை ஊர்திகளும் இருக்கும். இவை இரண்டுமே காந்தப்புலத்தில் விலக்கமடைந்து ஹால் மின்னழுத்தத்தைத் (Hall Voltage) தோற்றுவிப்பதில் பங்கு கொள்கின்றன. எனவே, இருவகை நகர்வுதிறன்களும் ஒரே நேரத்தில் கணக்கீட்டில் வரும். இந்த இடர்ப்பாட்டைத் தவிர்க்க முடியாது. எனவே, புள்ளித்தொகுப்பியல் முறைப்படி சராசரி எடுத்துக்கொண்டு நகர்வுதிறன்களைக் கணக்கிடலாம். நகர்வு திறன்களைத் தனித்தனியாகக் கணக்கிட (μ_p & μ_n) ஊர்திகளின் செறிவுகள் தனித்தனியாகத் தெரிந்திருக்க வேண்டும்.

ஹால் விளைவில் தோற்றுவிக்கப்படும் ஹால் மின்னழுத்தம் காந்தப்புலம், மின்னோட்டம் ஆகியவற்றின் குறுக்குப் பெருக்கல் தொகைக்கு (cross product) நேர்விகிதத்திலிருப்பதால், இந்த ஹால் மின்னழுத்தம் குற்றலைத் திறன்பகுப்பானாக (Microwave power detector) பயன்படுத்தப்படலாம். குறைகடத்திப்பொருளில்

ஓடும் மின்னேட்டம் ஹால் மின்புல வலிமை-E, காந்தப் புலப் பாயச்செறிவு-B ஆகியவற்றின் குறுக்குப் பெருக்கல் தொகைக்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும் $(E \times H)$. இதைத்தான் மின்னியலில் 'பாயின்டிங் வெக்டார்' (pointing vector) என்று கூறுகிறோம். ஆகவே, ஒரு குறைகடத்திப் படிகத்தில் வெவ்வேறு ஹால் மின்னழுத்தங்கள் அளவீடு செய்யப்படலாம். பிறகு இந்தப் படிகம் குற்றலை வழிப்படுத்திக்குள் (wave guide) வைக்கப்படுகிறது. படிகத்திற்கு இணைப்புகள் கொடுக்கப்பட்டு அதில் தோன்றும் ஹால் மின்னழுத்தம் அளந்தறியப்படுகிறது. குறைகடத்திப் படிகம் அலை வழிப்படுத்தி வழியே நகர்த்தப்பட்டு, வெவ்வேறு புள்ளிகளில் குற்றலை திறன், அதன் திசை ஆகியவை அளக்கப் படுகின்றன.

வினாக்கள்

1. ஹால் விளைவு என்றால் என்ன? அது குறைகடத்திகளில் எவ்வாறு தோன்றுகிறது?
2. ஒரு n-வகைக் குறைகடத்தி ஒரு காந்தப்புலத்தில் வைக்கப் படும்போது ஊர்திகளின் இயக்கம் எவ்வாறு இருக்கும் என்பதை விவரி?
3. ஒரு p-வகைக் குறைகடத்திப் படிகம் காந்தப்புலத்திலிருக் கும்போது பெரும்பான்மை ஊர்திகள் எவ்வாறு செயற் படுகின்றன என்பதை விளக்கு.
4. 'ஹால் மின்னழுத்தம்', 'ஹால் குணகம்' என்றால் என்ன? விளக்குக.

   ஹால் குணகத்திற்கான ஒரு வாய்பாட்டைத் தருவிக்கவும்.
5. ஒரு குறைகடத்தியில் பெரும்பான்மை ஊர்திகளாக இருப் பவை எலக்ட்ரான்களா அல்லது மின் துளைகளா என்பதை ஹால் விளைவு கொண்டு விளக்கி எழுது.
6. ஹால் மின்னழுத்தத்தை அளப்பதற்கான, ஒரு பரி சோதனைக்குரிய அமைப்பைப் படத்துடன் விளக்கு.
7. ஹால் குணகம் கடத்துதிறன் இவற்றிலிருந்து நகர்வு திறனைக் கணக்கிடப் பயன்படும் கோவையைத் தருவி.
8. ஒரு n-வகை ஜெர்மேனியம் குறைகடத்தியில் கொடை அணு அடர்த்தி 10^{15}/செ.மீ^{3}. இது $0 \cdot 5$வீபி/மீ^{2} காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்படுகிறது. மின்னேட்ட அடர்த்தி $J = 500$ ஆம்பியர்/மீ^{2}. படிகத்தின் தடிமன் 3 மி.மீ. ஆனால், இதில் தோன்றும் ஹால் மின்னழுத்தத்தைக் கணக்கிடு.

12. குறைகடத்திக் கருவிகள்

குறைகடத்திக் கருவிகளில் பயன்படுத்தப்படும் பொருள்கள்

இதுவரை முன் தலைப்புகளில் முக்கிய குறைகடத்திக் கருவிகளான *p-n* சந்தி டயோடுகள் பற்றியும் டிரான்சிஸ்டர் பற்றியும் விரிவாக விளக்கப்பட்டன. இவை தவிர மற்ற இடங்களில் பயன்படுத்தப்படும் குறைகடத்திக் கருவிகள் சில உள்ளன. இக் கருவிகள் பல்வேறு துறைகளில் தனிச்சிறப்பு இயல்புக் கருவிகளாகப் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. எடுத்துக் காட்டாக, டன்னல் டயோடுகள், கட்டுப்படுத்தப்பட்ட அலைதிருத்திகள் ஆகியவற்றைக் கூறலாம். இவை பெருமளவில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இன்னும் சில கருவிகள் சில குறிப் பிட்ட இடங்களில் குறிப்பிட்ட செயலுக்காகச் சிறப்புப் பயன் பாட்டுடன் செயல்புரிகின்றன. சிலிக்கான், ஜெர்மேனியம் ஆகிய குறைகடத்திகளின் பண்புகளும், குணங்களும் மிக விரிவாக விளக்கப்பட்டன. ஏனெனில், இவைதாம் பெரும்பாலும் எலக்ட்ரானியல் கருவிகளில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இந்த இரு குறைகடத்திப் பொருள்கள் தவிர இன்னும் சில கூட்டுப் பொருள்கள் உள்ளன (chemical compounds). இவை கூட படிகத்தன்மை யுடையவை. இவையும் குறைகடத்திப் பொருள்களாகச் செயற்படக்கூடும். தனிம அட்டவணையில் மூன்றாவது தொகுப்பிலும், ஐந்தாவது தொகுப்பிலுமுள்ள தனிமங்கள் ஒன்றுசேர்ந்து தோற்றுவிக்கும் கூட்டுப் பொருள்கள் இத்தகைய குறைகடத்திகளின் குணங்களையும், இயல்புகளையும் பெற்றிருக்கின்றன.

இவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்பட்ட கூட்டுப்பொருள் குறை கடத்தித் தனிம அட்டவணையில் நான்காவது தொகுப்பிலுள்ள ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான்போன்ற குறைகடத்திப் பொருள்கள் போலவே படிக அமைப்புக் கொண்டவையா யிருக்கின்றன; இவற்றின் குணங்களும் அதே போன்றுள்ளன. இவற்றிலுள்ள மின் ஊர்திகளின் நகர்வுதிறன் ஏறத்தாழ அதே அளவிற்கு மிகுதியாய் உள்ளன. காட்மியம், தாமிரம், ஈயம் போன்ற தனிமங்களின் ஆக்ஸைடுகளும், சல்பைடுகளும்கூட குறை

கடத்திப் பொருள்களாகப் பயன்படுகின்றன. ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான் படிகங்கள் தவிர இத்தகைய குறைகடத்திக் கூட்டுப் பொருள்களும், குறைகடத்திக் கருவிகள் செய்யப் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. கீழ் உள்ள அட்டவணையில் சில முக்கிய குறை கடத்திச் சிறப்புப் பொருள்களும், அவற்றைத் தயாரிக்கப் பயன் படுத்தப்படும் குறைகடத்திக் கூட்டுப்பொருள்களும் தரப் பட்டுள்ளன.

அட்டவணை

குறைகடத்திக் கருவிகளும், அவற்றைத் தயாரிக்கப் பயன்படுத்தப் படும் குறைகடத்திப் பொருள்களும்,

கருவி	பயன்படுத்தப்படும் குறைகடத்திப் பொருள்
1. அலைதிருத்தி டயோடுகள்.	ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான், செலீனியம், தாமிர ஆக்ஸைடு,
2. ஒளி மின்கலம், ஒளி டயோடு, ஒளி டிரான்சிஸ்டர் ஆகியவை.	ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான், செலீனியம், கேட்மியம் சல்பைடு.
3. டன்னல் டயோடு.	ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான், கேலியம், ஆர்சனேடு.
4. ஒளிவிடு டயோடு (Luminiscence)	கேலியம் ஆர்சனேடு, கேலியம் பாஸ்பைடு.
5. உட்புகுத்தும் லேசர்கள்.	கேலியம் ஆர்சனேடு, கேலியம் பாஸ்பைடு இரண்டும் கலந்த கூட்டுப் பொருள்.
6. மாறுதடைகள்.	சிலிக்கான் கார்பைடு.
7. ஹால் மின்னழுத்த இயற்றிகள் அல்லது காந்தத் தடைகள்.	இண்டியம் ஆர்சினேடு.
8. வெப்ப மின் விளைவு காட்டும் கருவிகள்.	பிஸ்மத், செலினேடு முதலியன.

வெப்பத்தடை மின்கலம் (Thermistor)

எல்லாக் குறைகடத்திப் பொருள்களின் ஒரு முக்கியமான சிறப்பியல்பு, அதன் மின் கடத்துதிறன் வெப்பநிலையைச் சார்ந்திருப்பதே யாகும். இந்த அருங்குணத்தைப் பயன்படுத்தி 'வெப்பத் தடை மின்கலம்' தயாரிக்கப்படுகின்றன. இவை நேர்பாங்கற்ற (non-linear) மின்தடைகளாகும். இவை ஒரு குறிப்பிட்ட குறைகடத்திப் பொருளால் தயாரிக்கப்படுவதால் வெப்ப நிலை மாறுபாட்டை மிகத்துல்லியமாக எடுத்துக்காட்டும் தன்மையுடையன. இதை ஒரு வெப்பநிலை மாற்ற உணர்வுதிறன் கொண்டது என்று கூறலாம். வெப்பத்தடை மின்கலங்கள் வெவ்வேறு நெடுக்கங்களில் தேவைக்குத் தகுந்தவாறு வெவ்வேறு அளவுகளில் தயாரிக்கப்படுகின்றன. இவை பெரும்பாலும் வெப்பநிலையை அளப்பதற்கும், வெப்பக் கதிர்வீச்சை அளப்பதற்கும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மாங்கனீசு, மெக்னீசியம், கோபால்ட், நிக்கல் ஆகியவற்றின் ஆக்ஸைடுகள் ஒன்றாகக் கலக்கப்பட்டு இவற்றிலிருந்து குறைகடத்திப் பொருள்கள் தோற்றுவிக்கப் படுகின்றன. இந்தக் குறைகடத்திப் பொருள்களைப் பயன்படுத்திதாம் பெரும்பாலும் வெப்பத்தடை மின்கலங்கள் தயாரிக்கப்படுகின்றன.

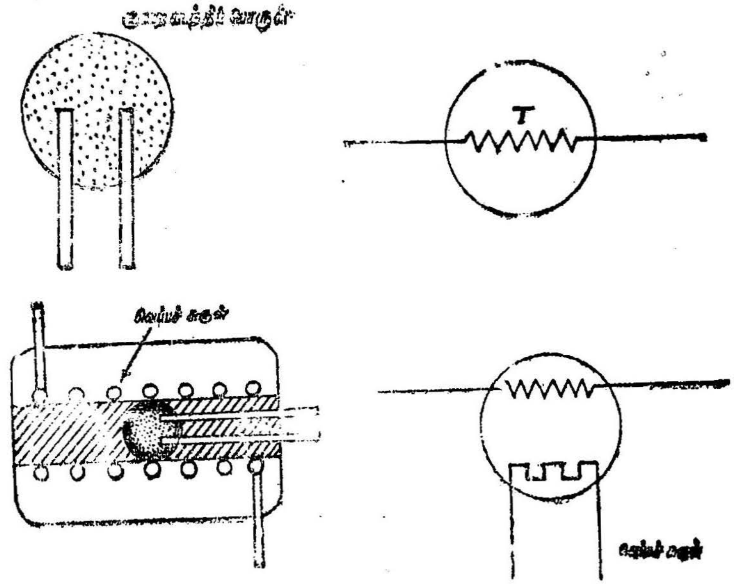
ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில், வெப்ப மின்தடையின், மின்தடையானது கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் தரப்படும்.

$$R = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \qquad \dots 12.1$$

R_0-என்பது ஒரு குறிப்பீடு வெப்பநிலை T_0-ல் (Reference Temperature) அதன் மின்தடையாகும். B-என்பது வெப்ப மின்தடை செய்யப்பட்டுள்ள பொருளைப் பொறுத்த மாறிலியாகும்.

இந்த வெப்ப மின்தடைகள் பல்வேறு உருவங்களில் தயாரிக்கப்படுகின்றன. சிறிய கட்டை போன்றும், மணிகள் போன்றும், பாளங்களாகவும், தட்டுகள் போன்றும், வாஷர்கள் போன்றும், தேவைக்கேற்ற விதத்தில் பல்வேறு உருவங்களில் இவை தயாரிக்கப்படுகின்றன. நேரடியாகச் சூடுபடுத்தப்படும் வெப்ப மின்தடை இரண்டே இரண்டு இணைப்புகளுடைய ஒரு கருவியாகும். இது படம் ...12.1-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. மற்றொரு வகை வெப்ப மின்தடையில், இவை தவிர மேலும் இரண்டு

சூடாக்கும் இணைப்புகள் இருக்கும். இவை மறைமுகமாக சூடாக்கப்பட்ட வெப்ப மின்தடைகள் எனப்படுகின்றன. ஒரு வெப்ப மின்தடையின் மின்தடையானது வெப்பநிலையோடு எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதைப் படம் காண்பிக்கிறது. நடைமுறையில் பயன்படுத்தப்படுகின்ற ஒரு வெப்ப மின் தடை ஓர் எதிர் வெப்ப மின்தடை எண்ணைக் கொண்டிருக்கும். வெப்பநிலை ஒவ்வொரு டிகிரி செ.கி. ஏறும் போதும் இதன் மின்தடையானது 6.4% லிருந்து 6.8% வரை குறையும். அதாவது வெப்ப மின்தடையின் வெப்பநிலை ஒரு டிகிரி



படம் 12·1
நேரடியாகச் சூடேற்றப்படுவது *T* குறியீடு
மறைமுகமாகச் சூடேற்றப்படுவது வெப்பத்தடை மின்கலம்

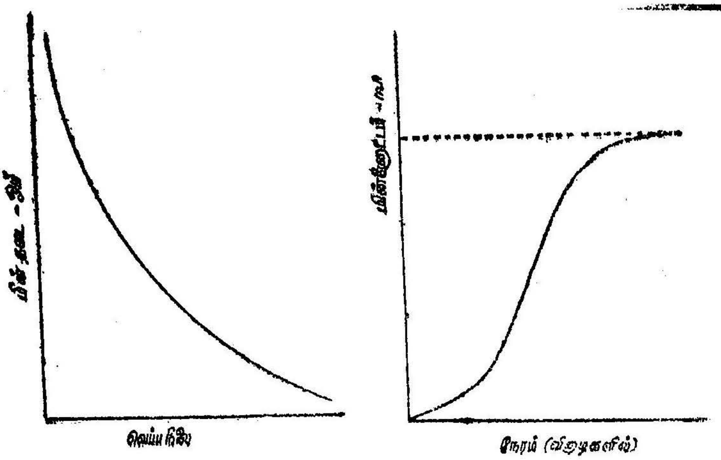
செ.கி. அதிகரித்தால் அதனுடைய மின்தடையானது அதன் தொடக்க மதிப்பிலிருந்து 6 8% வரை குறையும். இவ்வாறு எதிர் வெப்ப மின்தடை எண் உள்ள ஒரு வெப்ப மின்தடையைக் கண்டுபிடித்துள்ளனர்.

ஒரு வெப்ப மின்தடையுள்ள மின் சுற்றில் ஒரு மின்னோட்டம் செலுத்தப்படும்போது மின்னோட்டம் உச்சநிலையையடைய சிறிது நேரம் எடுத்துக்கொள்கிறது. இது படம் ...12.2-ல்

காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த வெப்ப மின்தடையின் குணமானது நேரம் தாழ்த்தும் சுற்றுகளில் (time delay circuit) பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

10 ஓமிலிருந்து 100 மெக். ஓம் வரை தடையுள்ள வெப்ப மின்தடைகள் இப்போது பயன்படுத்தப் படுகின்றன. இவற்றில் 1.5 ஆம்பியர் வரை மின்னோட்டத்தைச் செலுத்தலாம்.

ஒரு சிலிக்கான் மின்தடை மிகக் குறைந்த அளவு வெப்ப நிலை சார்ந்ததாக இருக்கும். இதன் வெப்ப மின்தடை எண் நேர்க்குறி கொண்டது, ஒவ்வொரு டிகிரி வெப்பநிலை



படம் 12.2

ஏறும்போதும் இதன் மின்தடை .7% அதிகரிக்கிறது. இந்தச் சிலிக்கான் மின்தடைகள் டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுகளில் வெப்ப நிலையைச் சமன்படுத்தப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

வெப்ப மின்தடையின் சில முக்கியமான பயன்கள்

1. வெப்பநிலையை அளப்பதற்கு
2. சூடுபடுத்துவதைக் கட்டுப்படுத்துவதற்கு
3. வெற்றிட அளவீடுகளில்
4. நேரம் தாழ்த்தும் சுற்றுகளில்

5. திரவங்களும், வாயுக்களும் இயங்கும்போது அவற்றின் ஓட்டத்தையும், வேகத்தையும் கணக்கிட

6. மிகுந்த அதிர்வெண்களின் திறனைக் கணக்கிட.

மாறுதடைகள் (Varistor)

மாறுதடை என்பது மின்னழுத்தம் மாறும்போது தானும் மாறுபடுகின்ற ஒரு நேர்ப்பாங்கற்ற மின்தடையாகும். ஒரு மாறுதடையின் மின்தடை மின்னழுத்தத்தோடு எதிர்விகிதத்தில் மாறுபடுகிறது. இந்த மாறுபாடு நேர்ப்பாங்காக இருக்காது. சாதாரணமாக ஓமின் விதிப்படி ஒரு மின்தடையிலுள்ள மின்னோட்டம் அதன் முனைகளுக்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்தத்திற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும்.

$$I = \left(\frac{E}{R}\right)$$

ஆனால், ஒரு மாறுதடையின் மின்னோட்டத்திற்கும், மின்னழுத்தத்திற்குமுள்ள தொடர்பு வேறுமாதிரியாகக் கீழ்க்கண்டதுபோல் இருக்கும்,

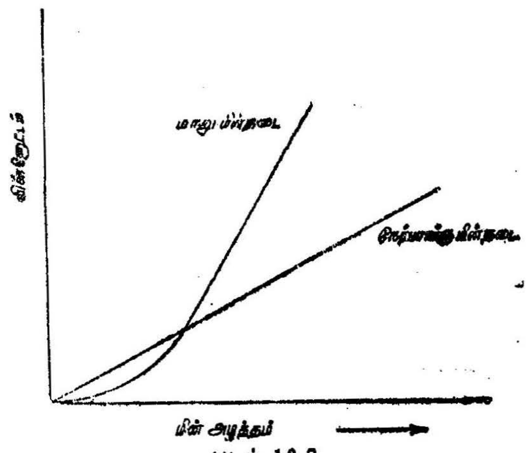
$$I = KE^n \qquad \ldots 12.2$$

இங்கு I என்பது மின்னோட்டத்தைக் குறிக்கிறது. n-ன் மதிப்பு மாறுதடை செய்யப்படும் பொருளைப் பொறுத்து அமையும் ஒரு எண். இது சிலநேரங்களில் 8 அளவுக்குக்கூட இருக்கும். ஒரு மாறுதடை செய்வதற்குப் பொதுவாகச் சிலிக்கான் கார்பைடைப் பயன்படுத்துகின்றனர். இது பீங்கானுள் வைக்கப்படுகிறது. இந்த மாறுதடைகள்கூடச் சிறு கட்டை வடிவிலும், பாளங்களாகவும், தட்டுகளாகவும், வாஷர் போன்றும் பல்வேறு உருவங்களில் தேவைக்கேற்றபடி தயாரிக்கப்படுகின்றன. கீழேயுள்ள படம் ஒரு மாறுதடையின் மின்னோட்டம் மின்னழுத்தத்தோடு எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதைக் காட்டுகிறது.

மாறுதடை என்பது இரண்டு திசைகளிலும் செயற்படும் நேர்ப்பாங்கற்ற ஒரு மின்தடையாகும். இருதிசைகளிலும் எந்தத்திசையில் மின்னோட்டம் பாய்ந்தாலும் ஒரே அளவான மின்தடையை இது கொடுக்கவல்லது. இந்தச் சமச்சீர் அமைப்புக்குணம், இருதிசை மின்னோட்டக் குணம் ஒரு மாறுதடைக்கு மிகவும் முக்கியமானது. எனவே, இந்தக் கருவியை ஓர் அலைதிருத்தியாகப் பயன்படுத்த முடியாது. படம் 12.4-ல் நேர்மின்னழுத்தம், எதிர்மின்னழுத்தம்

ஆகிய இரண்டிலுமே மின்னோட்டமானது எவ்வாறு சமச்சீராக உள்ளது என்பது காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

ஒரு மாறுதடையின் முனைகளுக்கிடையே ஒரு A. C மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படும்போது அதில் ஓடும் மின்னோட்டமானது உருக்குலைந்திருக்கும் (distorted). இந்த உருக்குலைவு, கருவியின் நேர்ப்பாங்கற்ற தன்மையால் தோன்றுவதாகும். படம் 12.3-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் மின்னழுத்தத்தின் அலைவடிவமும் மின்னோட்டத்தின் அலைவடிவமும் ஒரே மாதிரியாக இருப்பதில்லை. உருக்குலைந்த அலைவடிவத்தில் ஏராளமான அடுக்கு அதிர்வெண்கள் உள்ளன. பொதுவாக அதிர்வெண்ணின், ஒற்றைப்படை அடுக்குகள் மிகுதியாக இருக்கும் மாறுதடையின் இந்தச் சிறப்புக்குணமானது அதை ஓர் அடுக்கு அதிர்வெண் அலை இயற்றியாகப் பயன்படுத்தவும், அதிர்வெண் பெருக்கியாகப் பயன்படுத்தவும், உதவுகின்



படம் 12.3

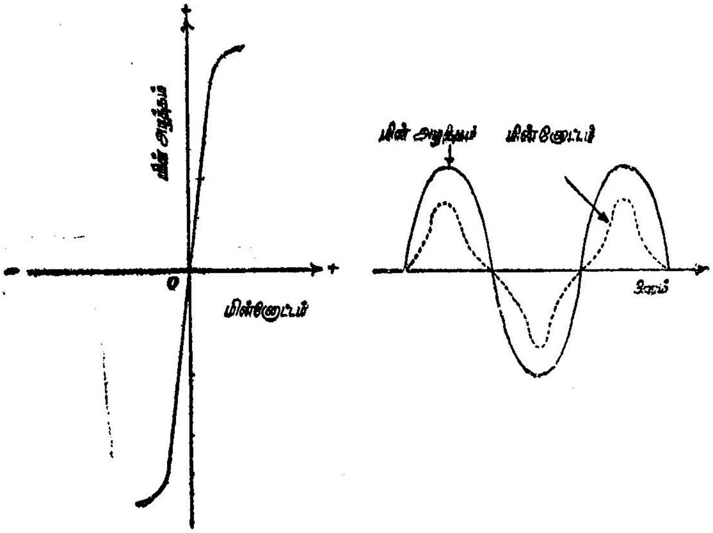
மாறு மின்தடை, நேர்பாங்கு மின்தடை இரண்டிலும் ஒப்பிடல்

றன. ஒரு மாறுதடையின் திறன் எண் ஒன்றைவிடக் குறைவாகவே இருக்கும். மாறுதடையில் மின்னழுத்தமும், மின்னோட்டமும் கட்ட வேறுபாடின்றி ஒரே கட்டத்தில் இருந்தாலும், இதன் திறன் எண் ஒன்றைவிடக் குறைவாக உள்ளது. இதற்குக் காரணம் மின்னழுத்தம் மின்னோட்ட அலைவடிவங்களிலுள்ள வேறுபாடேயாகும். ஒரு மாறுதடையிலுள்ள திறன் இழப்பானது கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் தரப்படும்.

$$P = E.I.\, Cos\, \theta.$$

ஒரு மாறுதடை, மின்தேக்க விளைவுகளைக்கூடக் காண்பிக்கும். இது செய்யப்பட்டிருக்கும் பொருளின் மின்கடத்தாப் பொருள் மாறிலி 100-லிருந்து 200 வரை இருக்கலாம்.

ஒரு மாறு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படும்போது ஒரு மாறு தடை எதிர் வெப்ப மின்தடை எண்ணைக் கொண்டிருக்கும். O°C. யிலிருந்து 100°C வரையுள்ள வெப்பநிலை நெடுக்கத்தில் ஒவ்வொரு டிகிரி வெப்பநிலை உயர்வுக்கும், மின்தடையானது 0.4 × லிருந்து 0.73 y வரை குறையும். படம் 12 5-ல் இரண்டு குறைகடத்தி டயோடுகள் நிலைமாற்றி இணைக்கப்பட்டிருப்பது காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 12.4

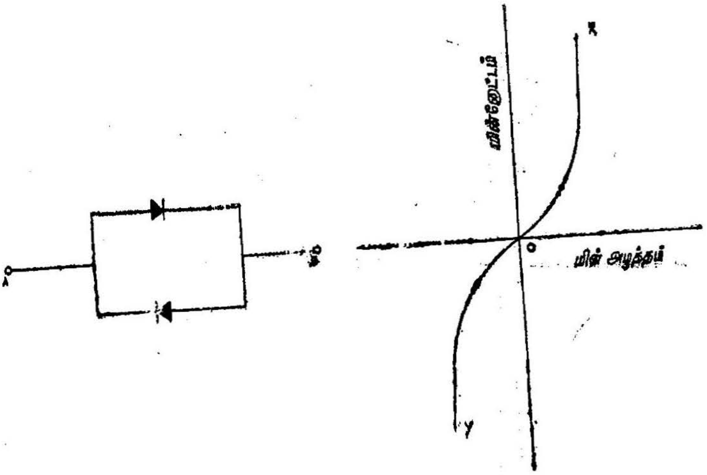
இந்த இணைப்பு மாறிமாறிச் செயற்பட இரண்டு டயோடுகளின் முன்னோக்கிய மின்னோட்டங்களைப் பயன்படுத்துகின்றன. இது ஒரு நல்ல மாறுதடையாகச் செயற்படும். மின்னழுத்த மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புக் கோடும் படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

மாறுதடையின் மிக முக்கியமான பயன்கள்

1. ஒளிவிளக்குகளைக் கட்டுப்படுத்துவதற்கு (lighting Arrestors)

2. அழுத்திகளாக (compressors)

3. குறிப்பிட்ட வரம்பில் நிறுத்திகளாக (limitoss)
4. சீராக்கிகளாக (regulators)
5. விரிவாக்கிகளாக (expandors)
6. தொலை இயக்கிக் கருவிகளாக (relay control deirces)
7. வெளிவிடு மின்னழுத்தமாறு, மின்னழுத்தமானிகளாக
8. மின்னழுத்த வகுப்பான்களாக (potential dividers)
9. அதிர் வெண் பெருக்கிகளாக (frequency multipliers)
10. தொடுப்புத் தடுப்பான்களாக (contact protectors)



படம் 12.5
இரு நிலைமாறிய டையோடுகளின் இணைப்பும் அவற்றின் சிறப்பியல்புகளும்

ஒளி டயோடுகளும், ஒளி-டிரான்சிஸ்டர்களும்

குவான்டம் கொள்கையின்படி ஒளியோ அல்லது எந்தவித மான கதிர்வீச்சோ 'போட்டான்கள்' என்று சொல்லப்படுகின்ற ஆற்றல் கூறுகள் அடங்கியவையாகும். ஒவ்வொரு ஃபோட்டானும் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு ஆற்றல் $h\nu$ வைக் கொண்டிருக்கும். ν என்பது கதிர்வீச்சின் அதிர்வெண். h-பிளாங்க் மாறிலி. ஒரு குறைகடத்திப் பொருளின் புறப்பரப்பின்மீது ஒரு கதிர்வீச்சு விழுமானால் அதன் ஆற்றலின் ஒரு பகுதி குறைகடத்திப் பொருளால் உறிஞ்சப்பட்டுவிடும். அல்லது உட்கொள்ளப்பட்டுவிடும். இவ்வாறு உட்கொள்ளப்பட வேண்டுமானால் ஃபோட்டானின்

ஆற்றல் $h\nu$ குறைகடத்தியின் இடைவெளி ஆற்றல் E_g-ஐவிட மிகுதியாக இருக்கவேண்டும். இவ்வாறு ஆற்றல் உட்கொள்ளப் படுவதன் விளைவாகக் குறைகடத்தியிலுள்ள இணைதிற எலக்ட்ரான்கள் கிளர்ச்சியுற்று, கடத்துப்பட்டைக்குச் சென்று விடுகின்றன. இதனால் ஓர் எலக்ட்ரான் - துளை - இரட்டை தோற்றுவிக்கப்படும். எனவே, குறைகடத்தியின் மின்கடத்து திறன் மிகுதியாகிறது. இந்தக் குணத்திற்கு 'உள் ஒளி மின்விளைவு' (internal photo-electric Eeffect) என்று பெயர். இது 1873ஆம் ஆண்டு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. செலினியத்தின் மின் கடத்து திறன் ஒளி படும்போது எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதைப்பற்றி ஆய்வுகள் நடத்தியபோது இந்தக் குறைகடத்தியின் ஒளி மின் விளைவு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இந்த விளைவின் அடிப்படையில் ஒளி டையோடுகள், ஒளி டிரான்சிஸ்டர்கள், சூரிய ஒளி மின்கல அடுக்குகள் (solar Battery) ஆகியவை தோற்றுவிக்கப்பட்டன. இந்த உள் ஒளிமின்விளைவு குறைகடத்தியின் வெளி ஒளி மின் விளைவிலிருந்து மாறுபட்டது. வெளி ஒளி மின்விளைவு என்பது குறைகடத்தியின் புறப்பரப்பின் மீது தகுந்த அதிர்வெண் உள்ள கதிர்வீச்சு விழும்போது குறைகடத்தியின் பரப்பிலிருந்து தன்னியல்பு எலக்ட்ரான்கள் வெளியே உமிழப்படுகின்றன. இதைத்தான் வெளி ஒளிமின் விளைவு என்கிறோம். இதுவும் உள் ஒளிமின் விளைவும் தனித்தனியானவை. ஒன்றிலிருந்து ஒன்று வேறுபட்டவை. ஒளி மின்கலங்கள் வெளி ஒளிமின் விளைவின் அடிப்படையில் செயற்படுபவை.

ஒளி டையோடு என்பது ஒரு குறைகடத்தி p-n சந்தி டையோடு ஆகும். இவை உள் ஒளிமின் விளைவுக்குணங்களைக் கொண்ட குறை கடத்திப் பொருள்களால் சிறப்பாகத் தயாரிக்கப்பட்டவை. இவற்றிலும் இருவகை உண்டு.

1. சந்தி வகை.

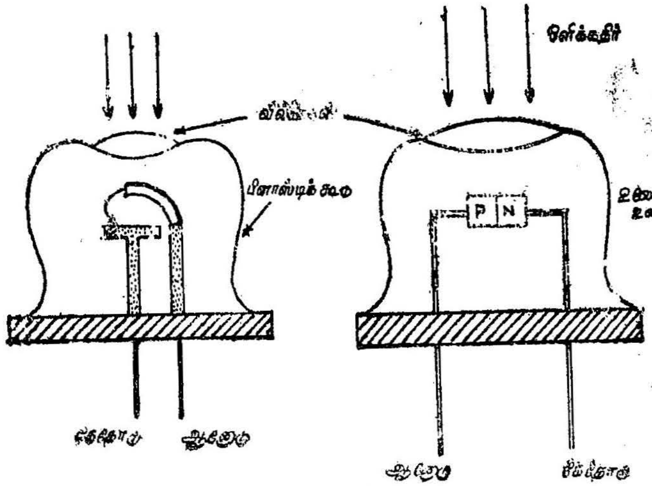
2. தொடுபுள்ளி வகை.

படம் 12.6-ல் ஒரு தொடுப்புள்ளிவகை ஒளி டையோடு காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது.

இதனுள்ளே ஒரு ஜெர்மேனியம் படிகப்பாளம் வைக்கப்பட்டுள்ளது. இதன்மேல் பூனை மீசைமயிர்போன்ற ஒரு பிளாட்டின மெல்லிய கம்பி தொட்டுக்கொண்டிருக்கும். இவை ஒரு ஒளிபுகா

கூட்டுக்குள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. ஜெர்மேனியப் பாளத்திற்கு ஒரு இணைக்கம்பியும், பிளாட்டினக் கம்பிக்கு ஒரு இணைக்கம்பியும் கூட்டுக்கு வெளியே வருமாறு இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இவை இரண்டும் இணைப்பு மின்வாய்களாகப் பயன்படும். கூட்டில் மேல் பகுதியில் ஒரு குவிலென்ஸ் உள்ளது. இதன் வழியாக இணை ஒளிக்கதிர்கள் ஜெர்மேனியம் பாளத்தின்மீது விழமுடியும்.

இதே படத்தில் ஒரு p-n சந்தி ஒளி டயோடும், காண்பிக்கப் பட்டுள்ளது. இது ஒரு வளர்க்கப்பட்ட சக்தி வகையைச் சேர்ந்தது. p-வகையில் ஓர் இணைப்புக்கம்பியும், n-வகையில் ஓர் இணைப்புக்கம்பியும் கூட்டைவிட்டு வெளிவருமாறு இணைக்கப்



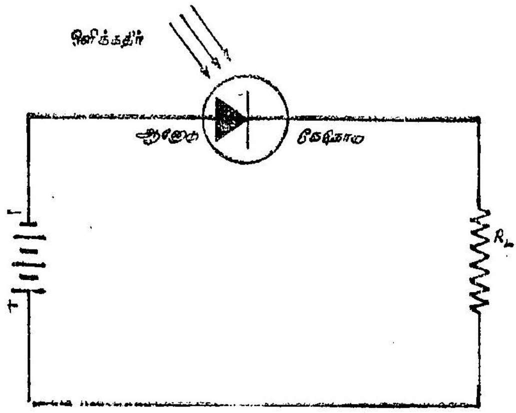
படம் 12.6
புள்ளித்தொடு ஒளி டையோடும், சந்தி ஒளி டையோடும்

பட்டுள்ளன. இவை இணைப்பு மின்வாய்களாகப் பயன்படும். இந்த p-n சந்தியின் மீது இணை ஒளிக்கதிர்கள் குவிந்து விழும்படி செய்ய ஒரு குவிலென்ஸ் உள்ளது.

ஒளி டயோடை செயற்படும்படி செய்ய இதற்கு ஒரு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்பட வேண்டும். E மின்னழுத்தமுடைய ஒரு மின்கல அடுக்கு இந்த ஒளி டயோடுக்கு R_L மின்தடையின் வழியாகத் தொடராக இணைக்கப்படுகிறது. ஒளி டயோடு திருப்பிய மின்னழுத்தத்தில் இருக்குமாறு மின்கல அடுக்கு இணைக்கப்பட வேண்டும். டயோடின்மேல் ஒளிக்கதிர்கள் விழாதபோது அதன்

மின்தடை மிகமிக அதிகமாக இருக்கும். எனவே, சுற்றில் மிகமிகக் குறைந்த மின்னோட்டம் சில மைக்ரோ ஆம்பியர்கள் அளவில் இருக்கும். இது p-n சந்தியின் திருப்பிய பயாசு பெற்ற நிலையில் தெவிட்டிய மின்னோட்டமாகும். இது வெப்பநிலையைச் சார்ந்திருக்கும்.

p-n சந்தியின்மீது ஒளிக்கதிர்கள் விழும்போது அதனுள் கூடுதலான எலக்ட்ரான் துளை இரட்டைகள் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. இவற்றின் எண்ணிக்கை ஒளியின் செறிவை, வலிமையைப்பொறுத்திருக்கும். இந்த அமைப்பு படம் 12'7-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 12.7
ஒளி டையோடின் சுற்று

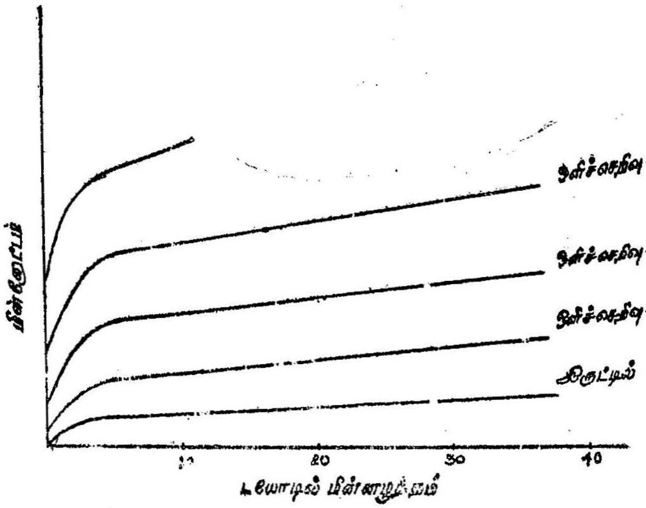
கொடுக்கப்படும் திருப்பிய மின்னழுத்தம் மாறாது இருக்கும்போது மின்சுற்றிலுள்ள மின்னோட்டமானது p-n சந்தியில் விழும் ஒளியின் செறிவுக்கு (Intensity of Radiation) நேர்விகிதத்திலிருக்கக் காணலாம். படம் 12.8-ல் ஓர் ஒளி டயோடின் மின்னழுத்த மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புகளை வெவ்வேறு ஒளிச் செறிவுகளில் காண்பிக்கிறது.

ஒளி டயோடின் சந்தியானது ஒளிக்கதிர்களால் ஒளியூட்டப்படும்போது திருப்பிய பயாசு மின்னழுத்தம் சுழி அளவுக்குக் குறைக்கப்படுகிறது. இதனால் மின்சுற்றில் ஒரு மின்னோட்டம் ஓடுகிறது. ஒளி டயோடின் இரு முனைகளுக்கிடையே ஒரு மின்னழுத்தம் தோன்றக் காரணமாகிறது. எனவே, ஒளி டயோடானது ஆற்றல் இயற்றியாகச் செயற்படுவதாகக் கொள்ளலாம். இது

ஒளி ஆற்றலை மின் ஆற்றலாக மாற்றித் தருகிறது. இந்தத் தத்துவத்தின் அடிப்படையில்தான் சூரிய ஒளிக்கதிர் மின்கல அடுக்குகள் செயற்படுகின்றன.

n-வகைப் பகுதியிலும் p-வகைப் பகுதியிலுமுள்ள எலக்ட்ரான்களின் செறிவுகள் முறையே n_n, n_p எனக் கொள்வோம். பயாசு கொடுக்கப்படாத ஒளி டயோடின் V_B என்பது மின்னழுத்தத் தடுப்பு என்று கொண்டால் இவற்றிடையேயுள்ள தொடர்பு,

$$n_p = n_n \, e^{\frac{-qV_B}{KT}} \qquad \dots 12{\cdot}3$$



படம் 12.8

ஒளி டையோடின் சிறப்பியல்பு

ஒளிக்கதிர் ஒளி டயோடின்மீது விழும்போது ஒரு சிறிது கதிர்வீச்சு ஆற்றல் உட்கொள்ளப்படுவதாகக் கொள்ளலாம். இதன் விளைவாக p-பகுதியில் உள்ள எலக்ட்ரான் செறிவானது Δ_n அளவு உயர்வதாகக் கொள்வோம். இப்போது சந்தியில் குறுக்கேயுள்ள சமநிலை மின்னழுத்த வேறுபாடு மின்னோட்டத்தைத் தடுப்பதற்காகச் சிறிது குறையவேண்டும். இவ்வாறு சந்தியானது சிறிதளவு முன்னோக்கிய பயாசு பெற்றதாக ஆகி, ஒரு சிறிய மின்னழுத்தம் V_0 தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. எனவே, சந்தியின் குறுக்கே உள்ள விளைவு மின்னழுத்தம் $(V_B - V_0)$ ஆகும்.

$$n_p + \Delta n = n_n \, e^{-q\left(\frac{V_B - V_o}{KT}\right)} \quad \ldots 12{\cdot}4$$

$$n_p + \Delta n = n_p \, e^{qV_o/KT}$$

$$\frac{n_p + \Delta n}{n_p} = e^{qV_o/KT}$$

$$1 + \frac{\Delta n}{n_p} = e^{qV_o/KT}$$

$$\log\left(1 + \frac{\Delta n}{n_p}\right) qV_o/KT$$

$$V_o = \frac{KT}{q} \log\left(1 + \frac{\Delta n}{n_p}\right) \quad \ldots 12{\cdot}5$$

Δ_n என்பது ஒரு வினாடிக்கு ஒரு க.செ.மீட்டரில் கதிர் வீச்சினால் தோற்றுவிக்கப்படும் எலக்ட்ரான்-துளை-இரட்டைகளின் எண்ணிக்கையாகும்.

சந்தியானது குறுக்கே இணைக்கப்படுகிறது என்று கொள்வோம். இதனால் சந்தி மின்னழுத்தமானது மாறாது V_Bயாக இருக்கும். இதனால், கதிர்வீச்சினால் தோற்றுவிக்கப்பட்ட கூடுதல் எலக்ட்ரான்கள் ஊடுருவல் முறையில் சந்தியை நோக்கி ஊடுருவிச் சென்று சந்தியைக் கடந்தும் சென்றுவிடும். இதன் பயனாகச் சந்தியிலுள்ள மின்னோட்டச் செறிவு,

$$J_n = q \cdot \Delta_n \cdot L_n \quad \ldots 12{\cdot}6$$

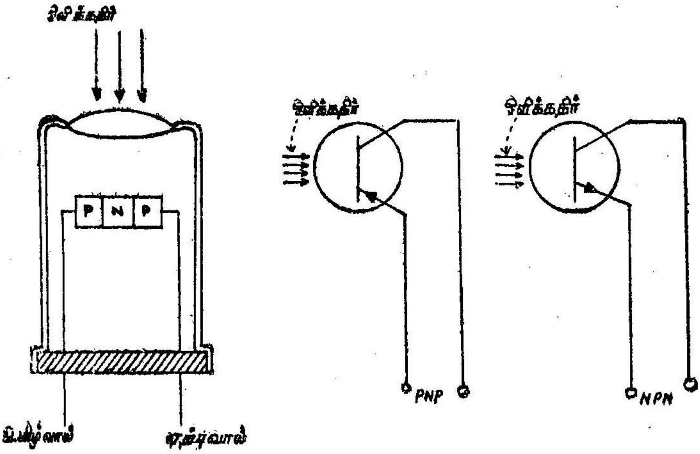
இதேபோன்று n-பகுதியிலே தோற்றுவிக்கப்படும் துளைகளினாலும், ஊடுருவல் மின்னோட்டம் தோன்றும். இந்த ஊடுருவல் மின்னோட்டச் செறிவு

$$J_p = q \cdot \Delta_n \cdot L_p \quad \ldots 12{\cdot}7$$

எனவே மொத்த மின்னோட்டச் செறிவு $(J_n + J_p)$ ஆக இருக்கும்.

p-n சந்தியானது திருப்பு பயாசைப் பெற்றிருந்தால் இந்த மின்னோட்டமானது திருப்பு பயாசிலுள்ள தெவிட்டிய முன்னோக்கிய மின்னோட்டம் I_r உடன் சேர்ந்துவிடும்.

இந்த உள் ஒளிமின் விளைவு சூரிய ஒளிக்கதிர் மின்கல அடுக்குகளை அமைப்பதில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதில் நேரடியாக ஒளி ஆற்றலானது மின் ஆற்றலாக மாற்றப்படுகிறது. ஒரு *n*-வகை சிலிக்கான் பாளத்தின்மீது மெல்லிய *p*-வகை அடுக்கு ஒன்று ஒட்டப்படுகிறது. இதன் விளைவாக மிகுந்த பரப்புள்ள சந்தி கிடைக்கும். சூரிய ஒளிக்கதிர் மின்கல அடுக்குகளில் 0.5 வோல்ட் வரை மின்னழுத்தம் கிடைக்கும். ஒரு ச.செ.மீட்டருக்கு 30மில்லி ஆம்பியர்வரை மின்னோட்டம் கிடைக்கும். ஆற்றல் மாற்றுதிறன் ஏறத்தாழ 7% வரை இருக்கும். ஒளி டிரான்சிஸ்டரானது ஒளி டயோடைவிட உணர்வுநுட்பம் வாய்ந்தது. முக்கியமாக ஒளிக் கதிர் வீச்சைக் கண்டுபிடிப்பதில் இது பயன்படுத்தப்படுகிறது. இது மற்ற டிரான்சிஸ்டர்களைப்போலவே செயற்படும். இதிலுள்ள



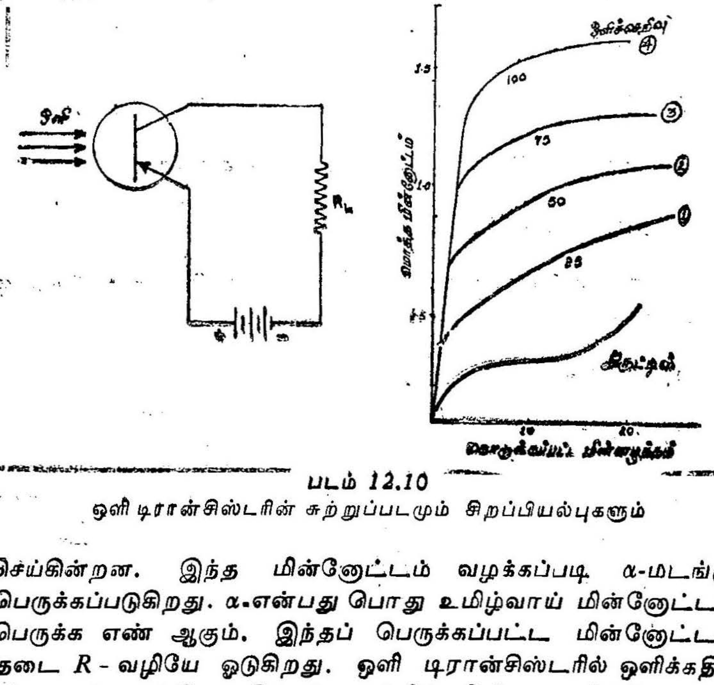
படம் 12.9
ஒளி டிரான்சிஸ்டரின் அமைப்பும் குறியீடுகளும்

வேறுபாடு மற்ற டிரான்சிஸ்டர்களுக்கு உள்ளீடு சைகை மின்னழுத்தம் என்றால் இதற்கு உள்ளீடு சைகை ஒளிக்கதிர் வீச்சு ஆகும். ஒளி டயோடைவிட இது ஒருவிதத்தில் சிறந்தது ஆகும். இதில் ஒளி ஆற்றல் மின்ஆற்றலாக மாற்றப்படுவதோடு பெருக்கமும் அடைகிறது. ஒரு ஒளி டிரான்சிஸ்டரின் அமைப்பு படம் 12.9-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

ஒரு *p-n-p* அல்லது *n-p-n* டிரான்சிஸ்டர் ஒளி புகா கூட்டுக்குள் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. கூட்டின் மேல்பகுதியில் ஒரு குவிலென்சு பொருத்தப்பட்டிருக்கும். அதன்வழியே ஒளிக்கதிர்கள் பாய்ந்து

அடிவாய், உமிழ்வாய்ச் சந்தியில் குவிக்கப்படும். டிரான்சிஸ்டரின் ஏற்புவாய், உமிழ்வாய் ஆகிய இரு பகுதிகளுக்கும் இணைப்புக் கம்பிகள் பொருத்தப்பட்டு, கூட்டுக்கு வெளியே வந்திருக்கும். சில ஒளி டிரான்சிஸ்டர்களில் அடிவாய்க்கும், ஓர் இணைப்புக்கம்பி பொருத்தப்பட்டு வழக்கமான டிரான்சிஸ்டர்போல் இருக்கும். படம் 12·10 உமிழ்வாய் பொதுவாக அமைந்த ஒளி டிரான்சிஸ்டர் சுற்றைக் காண்பிக்கிறது.

ஜெர்மேனியம் பாளத்தின்மீது ஒளி உணர்வு நுட்பம் மிகுந்த பரப்பில் ஒளிக்கதிர்கள் விழுந்தவுடன் ஆற்றல் உட்கொள்ளப்பட்டுக் கூடுதலான எலக்ட்ரான் துளைகள் தோற்றுவிக்கப் படுகின்றன. இவை அடிவாயில் ஒரு மின்னோட்டம் தோன்றும்படி



படம் 12.10

ஒளி டிரான்சிஸ்டரின் சுற்றுப்படமும் சிறப்பியல்புகளும்

செய்கின்றன. இந்த மின்னோட்டம் வழக்கப்படி α-மடங்கு பெருக்கப்படுகிறது. α-என்பது பொது உமிழ்வாய் மின்னோட்டப் பெருக்க எண் ஆகும். இந்தப் பெருக்கப்பட்ட மின்னோட்டம் தடை R-வழியே ஓடுகிறது. ஒளி டிரான்சிஸ்டரில் ஒளிக்கதிர் விழுவதற்குமுன்பே இந்தச் சுற்றில் சிறிது மின்னோட்டம் இருக்கும். இது p-n சந்தியின் திருப்பிய பயாசிலுள்ள திருப்பிய தெவிட்டிய மின்னோட்டம் I_R ஆகும். படத்தில் இத்தகைய ஓர் ஒளி டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்புக் கூடுகள் காண்பிக்கப் பட்டுள்ளன. இந்த ஒளி டிரான்சிஸ்டர்கள் கீழ்க்கண்ட கருவிகளாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

1. ஒளி மீட்டர்கள்.

2. துளையிட்ட அட்டைகளை (கம்ப்யூட்டர்களில்) இயக்கும் அமைப்புகள்.

3. துளையிட்ட டேப்புகள் (கம்ப்யூட்டர்களில்) இயக்கும் அமைப்புகள்.

4. பொருள் எண்ணிகள்.

5. கதவைத் தானே திறக்கும் அமைப்புகள்.

6. ஒளிப்படக் கருவி தானியங்கிக் கட்டுப்பாட்டுக் கருவிகள்.

7. ஒளி வகைத் தொடர்புக் கருவிகள்.

8. மேற் சிவப்பு நிறக் கதிர்களைக் கண்டறியும் கருவி.

9. தானியங்கி ஒளிக் கட்டுப்பாட்டுக் கருவிகள்.

நான்கு அடுக்கு அமைப்புகள்

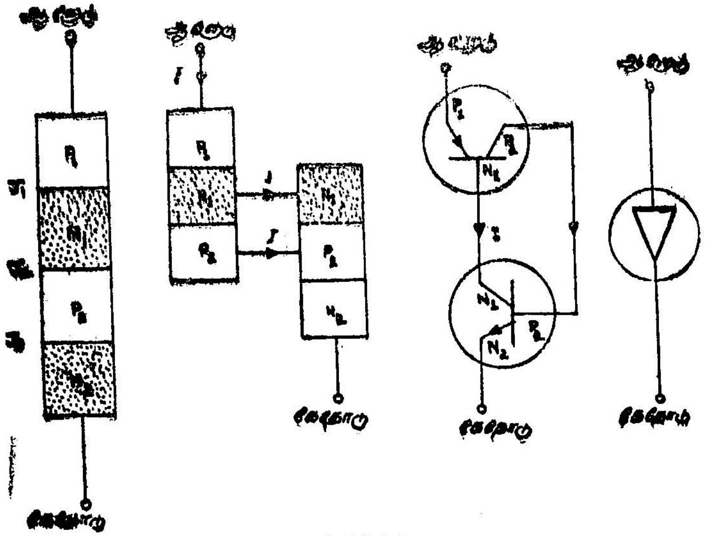
நான்கு அடுக்கு அமைப்புகளில் மிக முக்கியமான இரண்டு வகைகள் உள்ளன. இவை,

1. நான்கு டயோடுகள்.

2. கட்டுப்படுத்தப்பட்ட அலைதிருத்திகள்.

ஒரு நான்கு அடுக்கு டயோடில் *p-n-p-n* அமைப்பு ஒன்றுள்ளது. ஒரு *n*-வகை சிலிக்கான் பாளத்தின்மீது இரண்டு *p*-வகை அடுக்குகள் உருக்கி ஒட்டப்பட்டு இந்த *p-n-p-n* அமைப்புத் தயாரிக்கப்படுகிறது. J_1, J_2, J_3 என்பவை இந்த அமைப்பிலுள்ள மூன்று சந்திகளாகும். ஒரு முனையிலுள்ள *p*-வகை நேர் மின்வாயாகவும், மற்றொரு முனையிலுள்ள *n*-பகுதி எதிர்மின் வாயாகவும் செயற்படுகின்றன, இந்த நான்கு அடுக்கு டயோடு $p_1 n_1 p_2$, $n_1 p_2 n_2$ ஆகிய இரண்டு டிரான்சிஸ்டர்களாலானது எனக் கொள்ளலாம். இவை இரண்டும் சேர்ந்துதான் நான்கு அடுக்கு அமைப்பைத் தோற்றுவிப்பதாகக் கொள்ளலாம். *p-n-p* டிரான்சிஸ்டரும், *n-p-n* டிரான்சிஸ்டரும் ஒன்றோடொன்று மேற் பொருந்தி இருப்பதாகக் கொள்வோம். அவை உள்ளேயே ஒன்றோடொன்று அமைப்பில் பிணைக்கப்பட்டிருப்பதாகக்

கொள்ளப்படுகின்றன. படத்தில் காட்டியுள்ளபடி n_1 ஆனது $p_1 n_1 p_2$ டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாயாகவும், $n_2 p_2 n_1$ டிரான்சிஸ்டரின் ஏற்பு வாயாகவும் ஒரேநேரத்தில் செயற்படுகிறது. இதே போன்று p_2 பகுதி $p_1 n_1$ டிரான்சிஸ்டரின் ஏற்புவாயாகவும், அதே சமயத்தில் $n_2 p_2 n_1$ டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாயாகவும் செயற்படுகிறது. J_1 J_3 சந்திகளுக்கு இருபக்கங்களிலுமுள்ள கடத்துதிறன்கள் வெவ்வேறாக மாறிமாறி இருக்கும். p_1 பகுதியின் கடத்துதிறன் n_1 பகுதியின் கடத்துதிறனைவிடப் பெருமளவு விஞ்சியிருக்கும். இதேபோன்று n_2 பகுதியின் கடத்துதிறன் p_2 பகுதியின் கடத்துதிறனைவிடப் பன்மடங்கு விஞ்சியிருக்கும்.

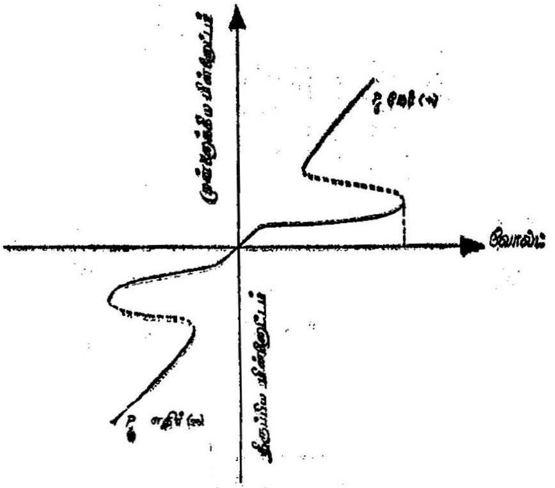


படம் 12.11
நான்கடுக்கு அமைப்பும் அதன் இணைமாற்றுச் சுற்றும்

படம் 12.11 இந்த நான்கு அடுக்கு டயோடு நேரிடையாகப் பிணைக்கப்பட்ட இரண்டு டிரான்சிஸ்டர்களுக்குச் சமமானது என்பதைக் காட்டுகிறது.

இந்த நான்கு அடுக்கு அமைப்பில் ஆனோடு(Anode) நேர்க்குறி கொண்டிருக்கும்படியும், கேதோடு (cathode) எதிர்க் குறி கொண்டிருக்கும்படியும் பயாசு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப் படுகிறது. இதனால் J_2 சந்தி திருப்புதிசையில் பயாசு பெற்றுத் தெவிட்டிய திருப்பிய மின்னோட்டம் I_R குறிக்கப்பட்ட திசையில் ஓடிக்கொண்டிருக்கும் ஆனால், இதேநேரத்தில் இதிலுள்ள

ஒழுகு மின்னோட்டமானது J_1 J_2 சந்திகளை முன்னோக்கிய திசையில் பயாசு பெறும்படி செய்துவிடும். இதன்விளைவாக இந்தப் பகுதியில் சிறுபான்மை ஊர்திகள் உட்புகுத்தப்படும். இந்த இரண்டு டிரான்சிஸ்டர்களிலுமே ஏற்புவாய்ச் சந்திகள் திருப்பிய திசையில் பயாசு பெற்றிருக்கின்றன. நான்கு அடுக்கு அமைப்பில் இந்த இரண்டுமே ஒரே சந்தி J_2 ஆக அமைவதால் ஏறத்தாழக் கொடுக்கப்படும் எல்லா மின்னழுத்தங்களும் p_2 n_1 சந்தியில்தான் தோன்றுகின்றன. J_2 சந்தியானது மிக உயர்ந்த தலைகீழ் மின்தடையைக் கொண்டிருக்கும். இந்த நிலையில் நான்கு அடுக்கு அமைப்பில் மிகமிகக் குறைவான மின்னோட்டமே இருக்கும். இந்தநிலை செயற்படாநிலை (offstate) என்று சொல்லப்படுகிறது.



படம் *12.12*
நான்கடுக்கு டிரான்சிஸ்டர் சிறப்பியல்பு

J_2 சந்தியிலுள்ள ஒழுகு மின்னோட்டமானது ஏதாவது ஒரு வழியில் தேவையான அளவு மிகுதிப்படுத்தப்பட்டால் இந்த டயோடானது மிகுந்த மின்னோட்டத்தைக் கடத்தும் நிலைக்கு வரும். J_2 சந்தியில் சீர்குலைவு தோன்றும்வரை, கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தத்தை உயர்த்துவது இத்தகைய வழிகளில் ஒன்றாகும். மின்னழுத்த மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பு வளைகோடு படம் 12.12-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. முன்னோக்கிய திசையிலும், திருப்பிய திசையிலும் எதிர்மின்தடைப் பகுதிகள் உள்ளன. இவை நேர்மின்தடைப் பகுதிகளுக்கு இடையே உள்ளன. இவை

செயற்படும் நிலைக்கும், செயற்படா நிலைக்கும் இடையில் இருக்கும். J_2 சந்தியில் ஓடுகின்ற மின்னோட்டம் மூன்று பகுதிகளாலானது.

1. திருப்பிய பயாசுநிலையில் தெவிட்டிய மின்னோட்டம் I_R. இது n_1 பகுதியிலிருந்து p_2 பகுதிக்கு வெப்ப எழுச்சி முறையில் தோற்றுவிக்கப்பட்ட துளைகள் ஓடுவதாலும், p_2 பகுதியிலிருந்து n_1 பகுதிக்கு எலக்ட்ரான்கள் ஓடுவதாலும் தோன்றும் மின்னோட்டமாகும்.

2 $\alpha_1 I$ என்ற மின்னோட்டம். இது p_1 பகுதியிலிருந்து n_1 பகுதிக்கு உட்புகுத்தப்பட்ட துளைகளால் தோன்றுவதாகும். இந்தத் துளைகள் n_1-பகுதியில் ஒன்றிப்பிலிருந்து தப்பியவையேயாகும். α_1 என்பது ஒரு பெருக்குத் தொகையாகும், இது J_1 சந்தியின் உமிழ்வாய்த் திறத்தையும், n_1 பகுதியின் அடிவாய் இடப்பெயர்ச்சி எண்ணையும் (துளைகளுக்கான) J_2 சந்தியின் சீர்குலைவுப் பெருக்க எண்ணையும் பெருக்கி வந்த தொகையாகும்.

3. $\alpha_2 I$ என்ற மின்னோட்டம் இது p_2-பகுதியிலிருந்து. n_2-பகுதிக்கு உட்புகுத்தப்பட்ட எலக்ட்ரான்களால் தோன்றுவது. இந்த எலக்ட்ரான்கள் p_2-பகுதியில் ஒன்றிப்பிலிருந்து தப்பியவை. α_2 என்பதும் ஒரு பெருக்குத் தொகையாகும். இது J_3 சந்தியின் உமிழ்வாய்த்திறத்தையும், p_2 பகுதியின் அடிவாய் இடப்பெயர்ச்சி எண்ணையும் (எலக்ட்ரான்களுக்கான) J_2 சந்தியின் சீர்குலைவுப் பெருக்க எண்ணையும் பெருக்கி வந்த தொகையாகும்.

$$I = I_R + \alpha_1 I + \alpha_2 I$$

$$I = \frac{I_R}{1-(\alpha_1+\alpha_2)}$$

டயோடின் மின்னழுத்த மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பு வளைகோட்டின் குறைந்த மின்னோட்டமுள்ள பகுதியை இந்தச் சமன்பாட்டின் உதவிகொண்டு விளக்கலாம். சிலிக்கானால் செய்யப்பட்ட இந்த நான்கு அடுக்கு அமைப்பில் கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தம் சிறியதாக இருக்கும்போது n_1 p_2 பகுதிகளின் செயற்படும் அடிவாய் அகலங்கள் W_1 -ம் W_2 -ம் மிகுதியாக இருப்பதாகக் கொள்ளலாம் எனவே, n_1 p_2 வழியாக ஊடுருவிச்செல்லும் சிறுபான்மை ஊர்திகள் ஒன்றிடும் வாய்ப்பை மிகுதியாகப் பெற்றிருக்கும். எனவே, n_1 p_2 பகுதிகளின் இடப்பெயர்ச்சி எண்களின் மதிப்புக் குறைந்துவிடுகின்றன. இதன்

விளைவாக ($\alpha_1 + \alpha_2$)-ன் மதிப்பு ஒன்றைவிடக் குறைந்ததாகி யாகி $I = I_R$ ஆக அமைந்துவிடும்.

கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கப்படுமானால் J_2 சந்தியில் நெருக்கமிழந்த அடுக்கின் அகலம் அதிகரிக்கச் செயற் படும் அடிப்பகுதிகளின் அகலங்கள் W_1-ம் W_2-ம் குறைந்து விடுகின்றன. இதனால் n_1 p_2 பகுதிகளின் இடப்பெயர்ச்சி எண்களின் மதிப்பு மிகுதியாகின்றன. இதே நேரத்தில் J_1 J_3 சந்திகளில் ஊர்திகளின் ஒன்றிப்பினால் ஏற்படும் வளைவின் முக்கியத்துவம் குறைந்து J_2 சந்தியில் ஊர்திகளின் பெருக்கம் மிகுதியாகிறது. இவற்றின் மொத்த விளைவு என்னவென்றால் $\alpha_1 + \alpha_2$ அதிகரிப்பதேயாகும்.

$\alpha_1 + \alpha_2$-ன் மதிப்பு ஒன்றைவிடக் குறைவாகவோ அல்லது ஒன்றுக்குச் சமமாகவோதான் இருக்கமுடியும். அப்போதுதான் மேலே கொடுக்கப்பட்ட சமன்பாட்டின்படி I-ன் மதிப்பு உண்மையாக இருக்கும். $\alpha_1 + \alpha_2$ ஒன்றைவிட அதிகமாக இருந் தால் J_2 சந்தியில் ஓடும் மின்னோட்டமானது Iஐவிட அதிகமாக இருப்பதாக வரும். இது உண்மையாக இருக்கமுடியாது. எனவே, J_2 சந்தியில் மின்னோட்டத்தின் அளவை I-க்குச் சமமாக இருத்துவதற்கு J_2 சந்தி முன்னோக்கிய பயாசு பெற்றதாக மாறிவிடுகிறது. n_1-லிருந்து வெளிப்பட்டு ஓடிய துளைகள் n_1-க்கே திரும்பி வந்துவிடுகின்றன. அதேபோன்று p_2 பகுதி யிலிருந்து வெளிப்பட்டு ஓடிய எலக்ட்ரான்கள் p_2 பகுதிக்கே திரும்பி வந்துவிடுகின்றன.

J_2 சந்தியின் சீர்குலைவுப் பெருக்கம் மிகுதியாகும்போது எலக்ட்ரான் துளை இரட்டைகள் தோற்றுவிக்கப்பட்டு அவற்றின் எண்ணிக்கை ஓரளவு கூடிவிடுகிறது. இதனால் எலக்ட்ரான்கள் n_1 பகுதிப் பக்கமாகவும், துளைகள் n_2 பகுதிப் பக்கமாகவும் நகரு கின்றன. இந்தப் பகுதியில் மின்னூட்டக் குவிப்பைத் தவிர்ப் பதற்காக J_1 J_3 சந்திகள் மேலும் பயாசைப் பெற்று p_2 பகுதிக் குள் எலக்ட்ரான்களையும், n_1 பகுதிக்குள் துளைகளையும் உட்புகுத்து கின்றன. சீர்குலைவுப் பெருக்கமானது குறுகியநேரத்தில் நடை பெறுவதால் n_1 p_2 பகுதிகளில் மிகுதி ஊர்திகளின் செறிவு மிகக் குறைந்த நேரத்தில் உயர்ந்துவிடுகிறது. இதனால் n_1 பகுதிக் குள் துளைகளை உட்புகுத்துமாறும், p_2 பகுதிக்குள் எலக்ட்ரான்களை உட்புகுத்துமாறும் தேவையான அளவுக்கு J_2 சந்தி முன்னோக்கிய பயாசு பெற்றிருந்தால்தான் சமநிலைத்தன்மை தோற்றுவிக்கப் படும். இந்த ஊர்திகளினால் தோன்றும் மின்னோட்டம் J_1 J_3 சந்திகளிலிருந்து எதிர்த் திசைகளில் ஓடும் மின்னோட்டத்தைச்

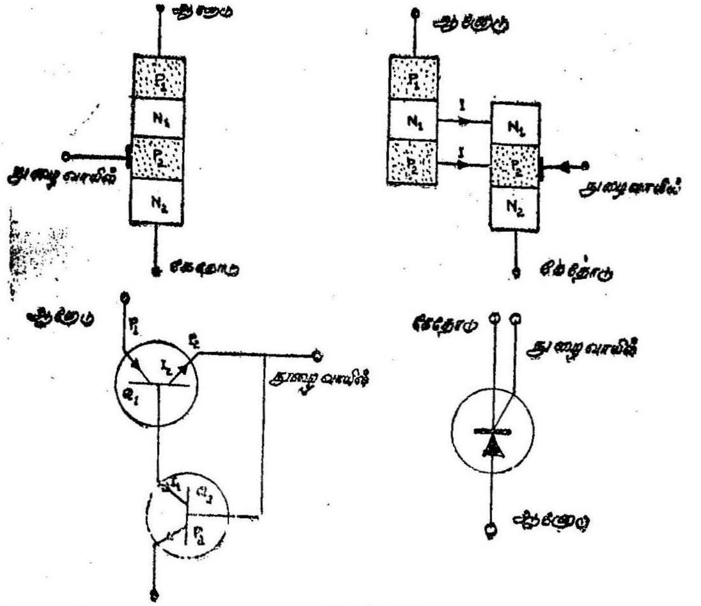
சரிசெய்துவிடும். இந்த நிலையில் J_1 J_2 J_3 ஆகிய மூன்று சந்திகளுமே முன்னோக்கிய திசையில் பயாசு பெற்றிருக்க இணைப்புகளுக்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்தமானது குறை மதிப்புக்குத் தாழ்ந்துவிடும். இந்த இணைப்புகளுக்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்தமும், மின்னோட்டமும் கொடுக்கப்படும் மின்விசையாலும், வெளிச்சுற்றின் தடையாலும் நிர்ணயிக்கப்படும்.

கட்டுப்படுத்தப்பட்ட அலைதிருத்திகள் (Controlled Rectifiers)

ஒரு கட்டுப்படுத்தப்பட்ட அலைதிருத்தியும் நான்கு அடுக்கு டயோடைப் போலவே ஒரு *p-n-p-n* அமைப்பைக் கொண்டிருக்கிறது. ஒரு சிலிக்கான் *n*-வகைப் பாலத்தின்மீது *p*-வகை அடுக்குகளை உருக்கி ஒட்டுவதனால் இந்த அமைப்புத் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இதிலும் J_1 J_2 J_3 என்ற மூன்று சந்திகள் இருக்கும். இந்த அமைப்பின் ஒரு முனையிலுள்ள p_1-பகுதி ஆனோடாகவும், மறு முனையிலுள்ள n_2-பகுதி கேதோடாகவும் செயற்படும். n_2-பகுதியை அடுத்துள்ள *p*-பகுதி அடுக்கு 'வாயில் அடுக்கு' (Gate layer) எனப்படும். ஆனோடு, கேதோடு, வாயிலடுக்கு ஆகியவற்றுடன் தொடுப்புகள் இணைக்கப்படுகின்றன. இந்தக் கட்டுப்படுத்தப்பட்ட அலைதிருத்தியானது ஓர் ஆற்றல் மிக்க நான்கு அடுக்கு டயோடாகக் கொள்ளலாம். வழக்கமான நான்கு அடுக்கு டயோடுக்கு இரண்டே இரண்டு இணைப்பு முனைகள்தாம் உள்ளன. ஆனால், கட்டுப்படுத்தப்பட்ட அலைதிருத்திக்கு இவற்றோடு கூட 'வாயில் இணைப்புமுனை' (Gate Terminal) ஒன்றும் உண்டு.

நான்கு அடுக்கு டயோடைப்போலவே கட்டுப்படுத்தப்பட்ட அலைதிருத்தியும் $p_1 n_1 p_2$, $n_2 p_2 n_1$ ஆகிய இரண்டு டிரான்சிஸ்டர்களால் ஆனதாகக் கொள்ளலாம். இந்தக் கட்டுப்படுத்தப்பட்ட அலைதிருத்திக்குப் பயாசு மின்னழுத்தமானது கொடுக்கப்படுகிறது. ஆனோடு நேர்க்குறி கொண்டதாகவும், கேதோடு எதிர்க்குறி கொண்டதாக இருக்கும்படியும், J_2 சந்தி திருப்பிய பயாசிலும், J_1 J_3 சந்திகள் முன்னோக்கிய பயாசுகளில் இருக்குமாறும் மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படுகின்றன. மின்சுற்றில் திருப்பிய பயாசிலுள்ள தெவிட்டிய மின்னோட்டம் I_R ஓடும்; வாயின்வழியே மின்னோட்டம் எதுவுமில்லாதபோது இரு டிரான்சிஸ்டர்களின் ஏற்புவாய்ப் பகுதிகளும் திருப்பிய திசையில் பயாசு பெற்றிருக்கும். இரண்டு ஏற்புவாய்ப் பகுதிகளும், நான்கு அடுக்கு அமைப்பில் ஒரே J_2 சந்தியாகையால் கொடுக்கப்பட்ட எல்லா மின்னழுத்தமும், J_2 சந்தியின் குறுக்கேதான் தோன்றும். நுழைவாயிலில் உள்ளீடு மின்னழுத்தம் ஏதும் கொடுக்கப்படாத

போது சில ஊர்திகள் மட்டும் J_2 சந்தியை அடைகின்றன இதனுல் J_2 சந்தி உயர் எதிர்மின்தடையைப் பெற்றிருக்கும். இந்த நிலையில் அலைதிருத்தியில் மிகமிகக் குறைந்த மின்னேட்டம் ஓடும். இது இப்போது செயற்படா நிலையிலிருப்பதாகச் சொல்லப் படுகிறது. கேதோடுக்கும் வாயிலுக்குமிடையே ஒரு பொருத்த மான நுழைவாயில் மின்னழுத்தம் (Gate Voltage) கொடுக்கப் பட்டால் J_2 சந்தியில் சீர்குலைவு ஏற்படும்படி செய்யலாம். இதனுல் அலைதிருத்தி வழியே மிகுந்த மின்னேட்டம் ஓடும்.



படம் 12.13
கட்டுப்படுத்தப்பட்ட அலைதிருத்தியும், அதன் இணைமாற்றுகளும்.

நுழைவாயில் அடுக்கிற்கு ஒரு நேர் மின் துடிப்பு (Positive Pulse) கொடுக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்வோம். இதனுல் ஒரு நுழைவாயில் மின்னேட்டம் I_Gயினுள் ஓடும். இது $n_2\ p_2\ n_1$, டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாய்ப்பகுதி மின்னேட்டமாக இருக்கும். இந்த டிரான்சிஸ்டர் பொது உமிழ்வாய்நிலையில் இருக்கிறது. உடனடியாகப் பெருக்கப்பட்ட ஏற்புவாய் மின்னேட்டம் I படத்தில் காட்டியுள்ள திசையில் ஓடும். இது p_1, n_1, p_2 டிரான் சிஸ்டருக்கு அடிவாய் மின்னேட்டமாக அமையும். உடனடியாக இதில் I_2 என்ற பெருக்கப்பட்ட ஏற்புவாய் மின்னேட்டம் பாய்கிறது.

இந்த மின்னோட்டம் I_2 மீண்டும் n_1, p_2 n_2 டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாய்க்குத் திருப்பித் தரப்படுகிறது. இதன் விளைவாக நிலைவாய் மின்னோட்டம் மேலும் மிகுதியாகும். இவ்வாறாக இந் நிகழ்ச்சி அடுத்தடுத்து நிகழ்ந்து மிகக் குறைந்த நேரத்தில் அலை திருத்தியிலுள்ள மின்னோட்டம் பெருமளவு மிகுதியாகி J_2 சந்தியின் சீர்குலைவு அளவை எட்டுகிறது. இந்த நிலையில் மின்னோட்டம் I ஆனது கொடுக்கப்படும் மின் இயக்குவிசையாலும் வெளிச் சுற்றினாலும் கட்டுப்படுத்தப்படும். நுழைவாயில் மின்னழுத் தத்தைச் சுழியாக்கினால்கூட அலைதிருத்தியைச் செயற்படா நிலைக்குக் கொண்டுவர முடியாது. இக்கருவி செயற்படு முறையானது வெற்றிடக் குழல் வகை 'தைரேட்ரான்' (Thyratron) செயல்முறையைப் பெரிதும் ஒத்திருக்கிறது. எனவே, இக்கருவியை 'தைரிஸ்டர்' (Thyristor) என்று அழைக்கலாம்.

J_2 சந்தியிலுள்ள மின்னோட்டம் I மூன்று கூறுகளைக் கொண்டது.

1. திருப்பிய பயாசிலுள்ள தெவிட்டிய மின்னோட்டம் I_R. இது வெப்ப எழுச்சியால் தோற்றுவிக்கப்பட்ட துளைகள் n_1—பகுதியிலிருந்து p-பகுதிக்குச் செல்லுவதாலும், p_2-பகுதியிலிருந்து n_1 பகுதிக்கு எலக்ட்ரான்கள் செல்லுவதாலும் தோற்று விக்கப்படுவதாகும். இந்த மின்னோட்டம் அலைதிருத்தி செயற் படா நிலையிலிருக்கும்போதுகூட ஓடிக்கொண்டிருக்கும்.

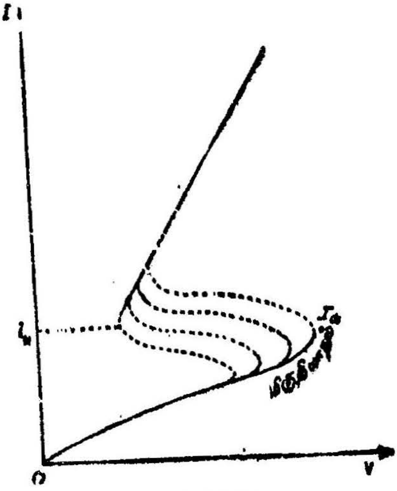
2. $\alpha_1 I$ என்ற மின்னோட்டம். இது p_1-பகுதியிலிருந்து n_1 பகுதிக்கு உட்புகுத்தப்பட்ட துளைகளினால் தோன்றுவது. இந்தத் துளைகள் n_1 பகுதியில் ஒன்றிப்பிலிருந்து தப்பியவையாகும். α_1 என்பது ஒரு பெருக்குத்தொகையாகும். இது J_1 சந்தியின் உமிழ்வாய்த் திறத்தையும், n_1 பகுதியின் இடப்பெயர்ச்சி எண்ணையும் J_2 சந்தியின் சீர்குலைவுப் பெருக்க எண்ணையும், பெருக்கி வந்த தொகையாகும். வேறுவகையில் சொன்னால் α_1 என்பது குறுக்கிணைக்கப்பட்ட p_1 n_1 p_2 டிரான்சிஸ்டரின் பொது அடிவாய் மின்னோட்டப் பெருக்கமாகும். இந்த டிரான்சிஸ்டரின் உமிழ் வாய் மின்னோட்டம் I ஆகவும் ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் α_1 I ஆகவும் இருக்கும்.

3. $\alpha_2 (I + I_G)$ என்ற மின்னோட்டம். இது p_2 பகுதியி லிருந்து n_2 பகுதிக்கு உட்புகுத்தப்பட்ட எலக்ட்ரான்களால் தோன்றுவது. இந்த எலக்ட்ரான்கள் p_2 பகுதியில் ஒன்றிப்பி லிருந்து தப்பியவை. α_2 என்பது ஒரு பெருக்குத் தொகை

யாகும். α_2 என்பது J_3 சந்தியின் உமிழ்வாய்த் திறத்தையும் p_2 பகுதியின் அடிவாய் இடப்பெயர்ச்சி எண்ணையும் J_2 சந்தியின் சீர்குலைவுப் பெருக்க எண்ணையும், பெருக்கிவந்த தொகையாகும். வேறுமுறையில் சொன்னால் α_2 என்பது குறுக்கிணைக்கப்பட்ட $n_2\, p_2\, n_1$ டிரான்சிஸ்டரின் பொது அடிவாய் மின்னோட்டப் பெருக்கமாகும். $n_2\, p_2\, n_1$ டிரான்சிஸ்டரில் $I + I_G$ உமிழ்வாய் மின்னோட்டமும் $\alpha_2\,(I + I_G)$ ஏற்புவாய் மின்னோட்டமும் இருக்கும்.

$$I = I_R + \alpha_1 I + \alpha_2\,(I + I_G)$$

$$I = \frac{I_R + I_G}{1-(\alpha_1 + \alpha_2)}$$



படம் 12.14
கட்டுப்படுத்தப்பட்ட அலைதிருத்தியின் சிறப்பியல்பு

$(\alpha_1 + \alpha_2)$ என்பது மிகுந்து கொண்டே செல்லும் (I-ன்) சார்பு ஆகையால் இந்தச் சமன்பாடு உயர் மின் தடைப் பகுதிகளிலும் பொருந்தும். I-ன் மதிப்பு சீர்குலைவுக்குப் பிறகு மிகுதியாகி விடுகிறது. எனவே, சீர்குலைவு மின்னழுத்தம் V_{B1} $(\alpha_1 + \alpha_2) = 1$ என்ற நிலை ஏற்படும்போது தோன்றுகிறது. படத்தில் மின்னழுத்த மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புக் கோடு (ஒரு கட்டுப்படுத்தப் பட்ட அலைதிருத்தியின்) காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது.

இந்தக் கருவிகள் செய்யப் படுவதற்குச் சிலிக்கான் குறைகடத்திதான் அடிப்படைப் பொருளாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. எனவே, இவை கட்டுப் படுத்தப்பட்ட சிலிக்கான் அலைதிருத்திகள் எனச் சொல்லப்படுகின்றன. படம் 12.15-ல் இத்தகைய ஒரு சிலிக்கான் அலைதிருத்தி காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

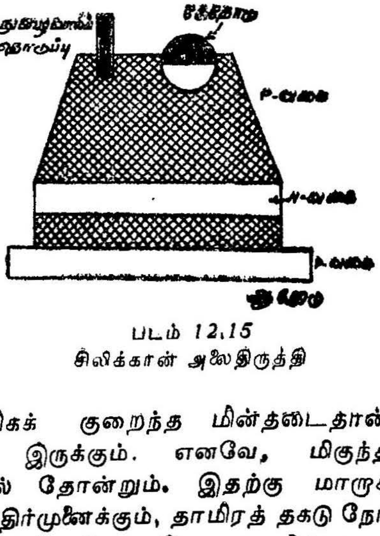
ஒரு சிலிக்கான் n-வகைப் பாளத்தில் ஏற்பித்தூசு அணுக்களைக் கொண்டு இரண்டு சந்திகள் உருக்கி ஒட்டுவதன்மூலம் இது உருவாக்கப்படுகின்றது. மேலேயுள்ள p-n சந்தி கேதோடாகவும்,

கீழேயுள்ள தொடுப்பு ஆனோடாகவும் ஆக்கப்படுகின்றன. கேதோடு பக்கத்திலேயே பாளத்தின்மேல் ஒரு நுழைவாயில் மின்வாய் பொருத்தப்படுகிறது.

தாமிர ஆக்ஸைடு அலைதிருத்திகள்

தாமிர ஆக்ஸைடு (Cu_2O) என்ற கூட்டுப்பொருளுக்கு ஒரு சிறப்புக் குணம் உண்டு. இது ஒரு திசையில் மின்னோட்டத்தை எளிதாக உடனடியாக ஓட அனுமதிக்கும். எதிர்த்திசையில் மின்னோட்டம் அவ்வளவு எளிதாக விரைவாக ஓடுவதில்லை. எதிர்த்திசையில் மின்னோட்டத்திற்கு ஓர் எதிர்ப்பை, தடையைத் தரும். இந்தக் குணத்தைப் பயன்படுத்தித் தாமிர ஆக்ஸைடு-அலை திருத்திகள் தயாரிக்கப்படுகின்றன. தாமிர ஆக்ஸைடு மெல் லேடுகள் இவ்வாறு ஒரு திசையில் மட்டும் மின்னோட்டத்தை ஓடவிடும். குணமானது ஒரு வெற்றிட டயோடின் செயலைப் போலவே இருக்கும்.

ஒரு தாமிர ஆக்ஸைடு அலை திருத்தியின் அமைப்புப் படம் கீழே காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

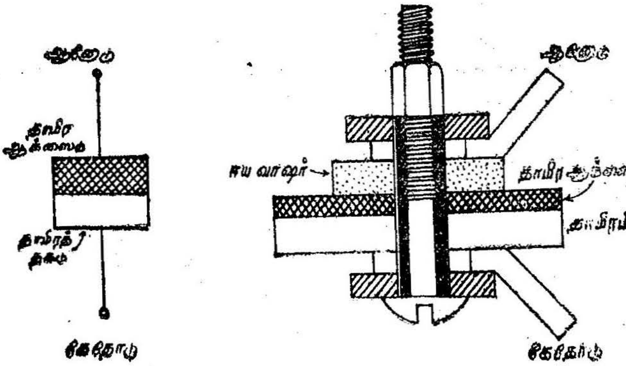


படம் 12.15
சிலிக்கான் அலைதிருத்தி

இதில் ஒரு தாமிரத் தகடு உள்ளது. இதன் மேல் ஒரு புறத்தில் தாமிர ஆக்ஸைடு ஒரு மெல்லிய ஏடாகப் படியும் படி செய்யப்பட்டுள்ளது. ஒரு *D-C* மின்னழுத்தத்தின் நேர் முனைக்கு இந்தத் தாமிர ஆக்ஸைடு மெல்லேடும், எதிர் முனைக்குத் தாமிரத்தகடும் இணைக்கப்பட்டால் மிக மிகக் குறைந்த மின்தடைதான் இந்த மின்னழுத்தத்திற்கு இருக்கும். எனவே, மிகுந்த மின்னோட்டம் இந்தச் சுற்றில் தோன்றும். இதற்கு மாறாக தாமிர ஆக்ஸைடு மெல்லேடு எதிர்முனைக்கும், தாமிரத் தகடு நேர் முனைக்கும் இணைக்கப்பட்டால் மிக மிக அதிகமான மின்தடை ஏற்பட்டு மிகமிகக் குறைந்த மின்னோட்டம்தான் இந்த மின் சுற்றில் இருக்கும்.

இந்த ஒரு திசை மின்னோட்டச் செயலைக் கீழ்க்கண்டவாறு விளக்கலாம். தாமிர ஆக்ஸைடு மெல்லேட்டில் ஏராளமான சிறுசிறு படிகங்கள் உள்ளன. இவை தாமிரத் தகட்டோடு

சந்திக்கும் இடத்தில் ஒரு தடுப்பு அடுக்கை ஏற்படுத்தி விடுகின்றன. எனவே, ஆக்ஸைடு மெல்லேடு ஓர் ஆனோடாகவும், தாமிரத்தகடு ஒரு கேதோடாகவும் ஆகிவிடுகிறது. தாமிரத் தகட்டில் ஓர் இணைக்கும் கம்பி ஈயப்பற்றுவைத்துப் பொருத்தப்படுகிறது. ஆக்ஸைடு மெல்லேட்டுப் பகுதியில் இவ்வாறு ஈயப்பற்று வைக்க முடியாது. எனவே, எளிய ஈயம்போன்ற மென்மையான உலோகத்தினலான 'வாஷர்' ஒன்று மெல்லேட்டைத் தொடு மாறு வைக்கப்படுகிறது. இது ஆக்ஸைடு மெல்லேட்டை நன்ருகத் தொட்டுக்கொண்டிருக்குமாறு செய்ய, அதன் மேல் ஒரு மரை வைத்து வலிவாகத் திருகுடன் முடுக்கப்பட்டிருக்கும். மரை, திருகு ஆகியவற்றிற்குத் திருத்திக் கருவியுடன் மின்தொடர்பு கொள்ளாதவாறு சாப்புவளையங்கள் பொருத்தப்படுகின்றன.

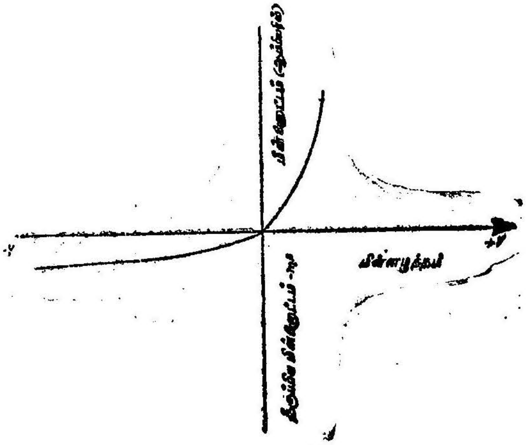


படம் 12.16
தாமிர ஆக்ஸைடு அலைதிருத்தி

ஆனோடு நேர்மின் வாய்க்கு இணைப்புக் கொண்டிருக்கும் போது மிகுந்த நேர்த்திசை மின்னேட்டம் நேர்ப்பாங்கற்றமுறை யில் ஓடும். ஆக்ஸைடு மெல்லேடு எதிர்மின் வாய்க்கு இணைப்புக் கொண்டிருக்கும்போது, மிகமிகக் குறைவான திருப்புத்திசை மின் னேட்டமிருக்கும். இது படம் 12.17-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

இதில் மின்னழுத்த மின்னேட்டச் சிறப்பியல்பு இருதிசைகளி லும் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த அலைதிருத்தியில் முன்னேக் கியதிசையில் மின்னேட்டமானது ஆம்பியர் அளவில் இருக்கும். குறிப்பிட்ட, கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தத்தில் இந்த மின்னேட் டத்தின் அளவை ஆக்ஸைடு மெல்லேட்டின் பரப்புத் தீர்மானிக் கிறது. இந்தக் கருவி கெட்டு விடாமலிருக்க அனுமதிக்கப்படும் பெருமளவு மின்னழுத்தத்தை ஆக்ஸைடு மெல்லேட்டின் தடிமன் தீர்ணயிக்கிறது.

இதில் அனுமதிக்கப்படும் பெருமளவு மின்னழுத்தம் ஏறத்தாழ 5 வோல்ட் வரை தான் இருக்கமுடியும். இதுதான் இந்த அலைதிருத்தியின் முக்கியமான குறையாகும். உயர் A.C. மின்னழுத்தங்களை அலைதிருத்தவேண்டுமானல் பல ஆக்ஸைடு அலைத் திருத்திகளை அடுக்கடுக்காகத் தொடராக இணைக்கவேண்டும். ஓர் ஆக்ஸைடு மெல்லேட்டின் மீதிருக்கும் ஈயவாஷர் அடுத்துள்ள திருத்தியின் தாமிரத்தட்டின் பரப்போடு தொட்டுக்கொண்டிருக்குமாறு செய்யவேண்டும். இத்தகைய திருத்திகள்-50°C லிருந்து 100°C வரையுள்ள வெப்பநிலைகளில் ஒன்ருகச் செயற்படும்



படம் 12.17
தாமிர ஆக்ஸைடு அலைதிருத்தியின் சிறப்பியல்பு

செலீனியம் அலைதிருத்திகள்

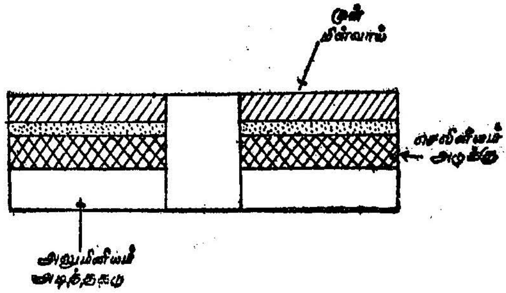
மின் ஆற்றல் சுற்றுகளில் நீண்ட நெடுங் காலமாகவே செலீனியம் அலைதிருத்திகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இந்தச் செலீனியம் அலைதிருத்திகள் மற்றவற்றைக் காட்டிலும் சில மேம்பாடுகளைக் கொண்டவை. அவையாவன,

1. செயற்படுதிறம்.
2. நீண்ட நாள்கள் உழைக்கும் தன்மை.
3. செயற்படுவதற்கான செலவு குறைவு.

முதலில் அலுமினியம் போன்ற உலோகத்தகட்டின்மீது செலீனியம் குறைகடத்திப் பொருள் படியும்படி செய்யப்

படுகிறது. இப்படிப் படிந்துள்ள செலீனியத்தின் மேல்பகுதியில் மற்றோர் உலோகத்தகடு வைத்துப் பொருத்தப்படுகிறது. செலீனியம்- அலைதிருத்தியானது ஒரு மின்கலம் போன்ற அமைப்புடையது. இரண்டு உலோகத் தகடுகளுக்கிடையே இதற்காகவென்றே தனியாகத் தயாரிக்கப்பட்ட செலீனியம் மெல்லிய அடுக்காக வைக்கப்படுகிறது. படம் 12.18-ல் இதனமைப்புக் காட்டப்பட்டுள்ளது.

ஒரு D-C மின்னழுத்தத்தின் நேர்முனைக்கு இந்தச் செலீனியம் அலைதிருத்தியின் அடித்தட்டு இணைக்கப்பட்டு மேலேயுள்ள தட்டு எதிர்முனைக்கும் இணைக்கப்பட்டால் இந்த அமைப்பானது மிகமிகக் குறைந்த ஒரு மின்தடையைத் தரும். எனவே, மிகப் பெருமளவு மின்னோட்டம் ஓடும், இதுதான் செலீனியம் அலைதிருத்



படம் 12·18
செலீனியம் அலைதிருத்தி அமைப்பு

தியின் முன்னோக்கிய பயாசு ஆகும். அலைதிருத்தியின் அடித்தட்டை எதிர் முனைக்கும், மேலுள்ள தட்டை நேர்முனைக்கும் இணைத்தால் இந்நிலையில் இந்த அமைப்பு மிக உயர்ந்த மின் தடையைத் தர, மின்னோட்டமானது திருப்பு திசையில் மிகமிகக் குறைவாயிருக்கும். வேறுவகையில் சொன்னால் எலக்ட்ரான்கள் பெரும் எண்ணிக்கையில் மேல் தட்டு மின்வாயிலிருந்து செலீனியம் அடுக்கினுள் பாய்ந்துசெல்லும். எதிர்த்திசையில் இவ்வாறு செல்லா.

செலீனியமானது தூளாகப் படிகமல்லாது இருக்கும்போது அது ஒரு மின்கடத்தாப் பொருளேயாகும். அது இவ்வாறு அலை திருத்தும் பண்பைக் கொண்டிராது. எனவே, படிகநிலையற்ற செலீனியம் குறைகடத்தியாகச் செயற்படுவதில்லை. ஆனால், கட்டுப்படுத்தப்பட்ட வெப்பமுறையில் இதைச் சாம்பல் நிறப் படிகமாக மாற்றியமைத்தால் இதே செலீனியம் அலைதிருத்தும் குணத்தைக் காண்பிக்கும். பல்வேறு முறைகளில் செலீனியம் அலைதிருத்திகள்

அமைக்கப்பட்டாலும் அதன் அடிப்படை அமைப்பு ஒன்றாகத் தான் இருக்கும்.

தயாரிப்பு முறை

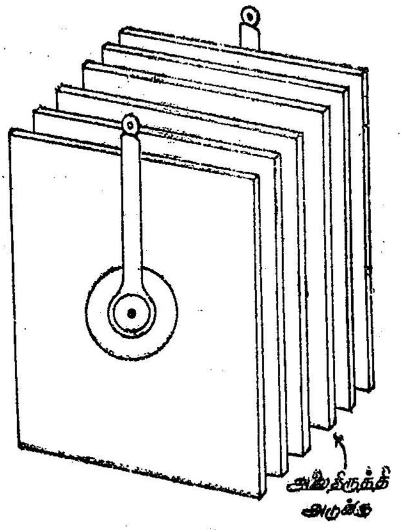
ஓர் அலுமினியத் தகட்டின் ஒருபுறம் மணலைக்கொண்டு தேய்த்தோ அல்லது அமிலத்தால் அரிக்கப்பட்டோ சுரசுரப்பான பரப்பாக்கப்படுகிறது. அலுமினியத்தகட்டின் மற்றொருபுறம் நிக்கல் பூசப்பட்டுப் பளபளப்பாக்கப்படுகிறது. இது ஏனெனில் செலீனியம், நிக்கலுடன் கலந்து வேதியியல் செயல் புரியாது என்பதால்தான் இவ்வாறு செயற்படுகிறது. அலுமினியம் மட்டும் இருந்தால் செலீனியமும், அலுமினியமும் சேர்ந்து வேதியியல் செயல்புரிந்து அலுமினியம் செலினைடு என்ற பொருளைத் தோற்றுவித்துவிடும். இது முன்னேக்கிய திசையிலுள்ள மின்தடையை அதிகரிக்க, அலைதிருத்தியின் செயற்திறம் குறைந்து விடும். எனவேதான் நிக்கல் பூச்சு கொடுக்கப்படுகிறது.

செலீனியமானது உருக்கப்பட்டுச் சிறிது குளோரின் அல்லது புரோமின் அல்லது அயோடின் ஆகியவற்றில் ஏதாவது ஒன்று உருகிய செலீனியம் குழம்பில் கலக்கப்படுகிறது. இதைக் கலப்பதால் திருத்தியின் முன்னேக்கிய தடை குறையும். பிறகு செலீனியக் குழம்பு குளிரவைக்கப்பட்டுச் சிறுசிறு மணிகளாக் கப்படுகிறது. இந்தச் செலீனியம் நிக்கல் பூசப்பட்ட பரப்பின்மேல் சீராகப் பரப்பப்படுகிறது. இந்தப் பகுதி மிகுந்த வெப்பநிலையில் பல நிமிடங்களுக்கு ஒரு யந்திரத்தின் உதவியால் அழுத்தி வைக்கப்படுகிறது. உயர் வெப்பநிலையில் அழுத்தத்தின் விளைவாக மணி வடிவிலிருந்த செலீனியம் படிக வடிவத்தை யடைந்துவிடும். இது நிக்கல் பூசப்பட்ட பரப்போடு வலிமையாகப் பிடித்துக் கொள்ளும். செலீனிய அடுக்கின் மற்றப் பக்கத்தில் ஒரு தடுப்பு அடுக்குத் தோற்றுவிக்கப்படும். செலீனியம் அடுக்கின் தடிமன் ஏறத்தாழ 0.3 மி.மி. அளவுதான் இருக்கும்.

இவ்வாறு தயாரிக்கப்பட்ட செலீனியம் படிவம் வெப்பம் ஊட்டப்பெற்று அதன்மேல் ஒரு தடுப்பு அடுக்கு அமையுமாறு ஒரு பொருள் பூசப்படுகிறது. இதன்மேலே இறுதியாக ஒரு முன்புற மின்வாய்த்தகடு பொருத்தப்படுகிறது. இப்போது மேலும் கீழுள்ள இரு தகடுகள் அலைதிருத்தும் குணத்தைக் கொண்டிருக்கும்.

செலீனியம் அலைதிருத்தியின் மின்னேட்ட அளவு அதன் பரிமாணங்களால் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. கருவி கெட்டுவிடாமல்

அனுமதிக்கப்படும் பெரும மின்னோட்டமானது செயற்படும் பரப்பைப் பொருத்து அமையும். பரப்பு அதிகமிருந்தால் மின்னோட்ட அளவும் அதிகரிக்கும். இதற்குக் கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தத்தின் பெரும அளவை, செலீனியம் அடுக்கின் தடிமனும் தடுப்பின் தடிமனும் தீர்மானிக்கின்றன. செலீனியம் அலைதிருத்தித் தகடுகள் பல்வேறு மின்னோட்ட அளவுகளில் ஒருசில மில்லி ஆம்பியர்களிலிருந்து 3 ஆம்பியர்வரை இப்போது கிடைக்கின்றன. இவற்றில் அனுமதிக்கப்படும் மின்னழுத்தமும் ஒரு தட்டுக்கு 20 வோல்ட்டிலிருந்து 60 வோல்ட்வரை இருக்கும். பல செலீனியம் அலைதிருத்திகள் தொடராக இணைக்கப்பட்டு மிகுந்த மின்னோட்ட அளவுகளில் செயற்பட வைக்கப்படுகின்றன. இதே போல் இவற்றை இணையாக இணைத்து உயர் மின்னழுத்தங்களில் செயற்பட வைக்கலாம். இவ்வாறு இணைக்கப்பட்ட அடுக்கு ஒன்றைப் படம் 12·19 காட்டுகிறது.



படம் 12.19
செலீனியம் அலைதிருத்தி அடுக்கு

முப்பதாயிரம் வோல்ட் உயர் மின்னழுத்தத்திலும், 50,000 ஆம்பியர்கள் மின்னோட்ட அளவிலும் செயல்படக்கூடிய செலீனியம் அலைதிருத்திகள் இப்போது செய்யப்படுகின்றன.

ஜெர்மேனியம் அலைதிருத்தி

ஜெர்மேனியம் அலைதிருத்தி என்பது ஒரு ஜெர்மேனியம் *p-n* சந்தி டயோடு தான். இதைப்பற்றி விரிவாக ஏற்கனவே ஒரு தலைப்பில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. இது செலீனியம் அலைதிருத்தியுடன் ஒப்பிடப்படும்போது பல மேம்பாடுகள் உள்ளன. ஆனால் இதற்கும் சில குறைபாடுகள் உள்ளன.

குறைந்த திறனிலும், நடுத்தரத் திறனிலும் செயற்படும் ஜெர்மேனியம் *p-n* சந்தி டயோடுகள் ஈரம் புகாவண்ணம் உலோகக்கூடுகளில் சீர்செய்யப்படுகின்றன. *p-n* சந்தியின்

கேதோடுப் பகுதி இந்த உலோகக் கூட்டோடு இணைக்கப்படுகிறது. ஆனோடிலிருந்து இணைப்புக்கம்பி காப்பிடப்பட்டு வெளிவருகிறது. சாதாரணமாகக் காற்றைக்கொண்டே குளிரவைத்து ஓர் ஒற்றை ஜெர்மேனியம் p-n சந்தியில் சதுர செ. மீட்டருக்கு 50 ஆம்பியர்கள்வரை மின்னோட்ட அளவைக் கையாளமுடியும். விரைவாகக் குளிரவைக்கப்படும்போது ச. செ. மீட்டருக்கு 100 ஆம்பியர்வரை இருக்கமுடியும்.

ஜெர்மேனியம் அலைதிருத்தியின் மேம்பாடுகள்

1. ஜெர்மேனியம் அலைதிருத்தி மிகச் சிறிய உருவமுடையது; எடை மிகக் குறைந்தது; கையடக்கமானது.

2. அனுமதிக்கப்படும் மின்னழுத்தம் செலீனியம் திருத்தியை விட மிக அதிகம்.

3. ஜெர்மேனியம் அலைதிருத்தியில் முன்னோக்கிய மின்னழுத்த வீழ்ச்சி 0.5-வோல்ட்தான் இருக்கும்.

4. திருப்புதிசை மின்தடை முன்னோக்கியதிசை மின்தடையைப்போல் 5×10^5 மடங்கு இருக்கும்.

5. செலீனியம் திருத்தியைவிட உயர் அதிர்வெண்களில் சிறப்பாகச் செயற்படும்.

குறைபாடுகள்

1. உயர் வெப்பநிலைகளில் இதைப் பயன்படுத்த முடியாது.

2. முன்னோக்கிய மின்னழுத்த வீழ்ச்சி குறைவாயிருப்பதால் குறுக்கு இணைப்பு D-C மின்னழுத்தம் சந்தியைக் கெடுத்துவிடலாம்.

3. முன்னோக்கிய மின்னழுத்த வீழ்ச்சிக் குறைவினால் எழுச்சி (surge) மின்னோட்டம் சந்தியைக் கெடுத்துவிட வழியுண்டு.

ஒரு ஜெர்மேனியம் அலைதிருத்தியைப் பயன்படுத்தும்போது கீழ்க்காணும் சிலவற்றைக் கருத்தில் கொள்ளவேண்டும்.

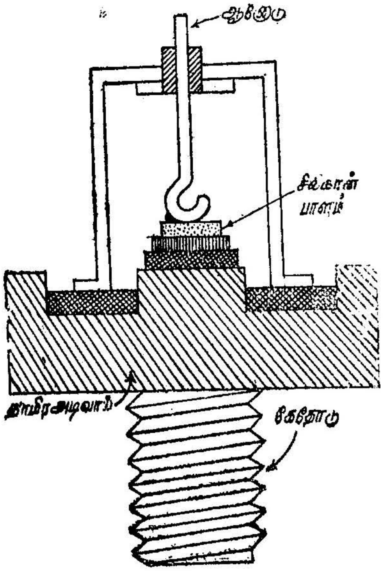
(i) சந்தி டயோடு அலைதிருத்தும் பண்பை இழக்கும் சீர்குலைவு மின்னழுத்தம் V_B

(ii) திருத்தியின் வெப்பப் பளுவைத் தீர்மானிக்கும் திருப்புதிசை மின்னோட்டம் I_R

(iii) முன்னோக்கிய திசையில் அதன் மின்தடை.

இவற்றைப் பொறுத்து ஒரு ஜெர்மேனியம் அலைதிருத்தி செம்மையாகச் செயற்பட வேண்டுமானல் உயர்ந்த சீர்குலைவு மின்னழுத்தத்தைப் பெற்றிருக்க வேண்டும்; குறைந்த தெவிட்டிய மின்னோட்டத்தைப் பெற்றிருக்கவேண்டும். குறைந்த முன்னோக்கிய திசை மின்தடையைப் பெற்றிருக்க வேண்டும்.

உயர் மின்னழுத்தங்களை அனுமதிக்க ஜெர்மேனியம் டயோடுகள் தொடராக இணைக்கப்பட வேண்டும். உயர் மின்னோட்டங்களில் செயற்பட வேண்டுமானல் இணையாக இணைக்கப் பட வேண்டும்.



படம் 12.20
சிலிக்கான் அலைதிருத்தியின் அமைப்பு

சிலிக்கான் அலைதிருத்திகள்

ஜெர்மேனியத்தைப் போலவே சிலிக்கான் அலை திருத்திகளும், ஒரு சிறிய *p-n* சந்திடயோடேயாகும். இந்தச் சந்திகளும் உலோகக் கூடு ஒன்றில் ஈரம் புகாவண்ணம் சீல் செய்யப்பட்டிருக்கும். படம் 12.20-ல் ஒரு சிலிக்கான் அலை திருத்தியின் அமைப்புக் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்தச் சிலிக்கான் அலைதிருத்தியின் முக்கியமான மேம்பாடு என்னவெனில் இது 200°C வெப்பநிலைவரை செம்மையாகச் செயற்படும்.

அதன் திருப்பு திசை மின்தடை முன்னோக்கிய திசை மின்தடையைவிடப் பன்மடங்கு மிகுதியாயிருந்தால் இதன் செயற்திறம் மிகமிக உயர்வாய் இருக்கிறது. இதன் திருப்பு திசை மின்தடை அதை ஒரு வெற்றிடக் குழல் டயோடு அலைதிருத்தியுடன் ஒப்பிடப்படும்படி இருக்கிறது. இதன் அலைதிருத்தும் மாறுதிசை மின்னழுத்தத்தின் அதிர்வெண்ணின் மேல்வரம்பு ஏறத்தாழ 60 கிலோ ஹெர்சாக ஜெர்மேனியத்திற்கு இருப்பதுபோலவே இருக்கும். இதன் மற்ற மேம்பாடுகளாவன: சிறிய உருவம், குறைந்த எடை, மிகுந்த மின்னோட்ட அளவு முதலியன.

அட்டவணை

பல்வேறு அலைதிருத்திக் கருவிகளின் பண்புகள்

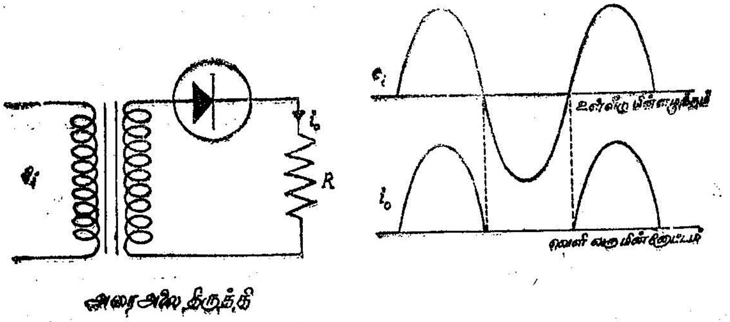
குணம்	தாமிர ஆக்ஸைடு அலை திருத்தி	ஜெர்மேனியம் அலை திருத்தி	சிலிக்கான் அலை திருத்தி	செலினியம் அலை திருத்தி	அலகு
1. மின்னோட்டச் செறிவு J	0.40	40	80	0.07	ஆம்பியர் / ச.செ.மீ.
2. மின்னோட்டச் செறிவு மிகுந்த குளிர்ச்சியில்	0.14	100	200	0.20	ஆம்பியர் / ச.செ.மீ.
3. செயற்படும் பெரும வெப்ப நிலை	50°C	65°C	140°C	85°C	°C
4. திருப்பிய பெரும மின்னழுத்தம்	6	115	400	25	வோல்ட்
5. செயல்திறம்	78	92	98·5	92	%

அலைதிருத்திகள் செயற்படும் முறையும் அவற்றின் சுற்றுப்படங்களும்

ஒரு a-c மின்னழுத்தத்தின் அளவு சுழியிலிருந்து நேர்க்குறிப் பக்கத்தில் உயர்ந்துகொண்டேபோய் ஓர் உச்ச மதிப்பை அடையும். பிறகு இந்த உச்ச மதிப்பிலிருந்து குறைந்துகொண்டே வந்து சுழி மதிப்பை அடையும் [உச்சநிலையடைய எடுத்துக்கொண்ட நேரமும், உச்சத்திலிருந்து சுழி மதிப்பை அடைய எடுத்துக் கொண்ட நேரமும் சமமாயிருக்கும்]. இந்த மின்னழுத்தம் வேறு படுகின்ற தன்மையைத்தான் ஒரு நேர் அரைச்சுற்று (positive half cycle) என்கிறோம். அடுத்துச் சுழி அளவிலுள்ள மின்னழுத்தம் எதிர்த்திசையில் உயரத் தொடங்கும். எதிர்த்திசையில் அதே உச்ச மதிப்பை அடைந்து, பிறகு அந்த உச்ச மதிப்பிலிருந்து குறைந்து கொண்டே வந்து சுழி மதிப்பை அடைந்துவிடும். இதை எதிர்க் குறி அரைச்சுற்று (negative half cycle) என்கிறோம்.

மின்னழுத்தத்தின் ஏற்ற இறக்கமும், திசை மாறுபாடும் ஒரு சைன் வளைகோட்டினால் குறிக்கப்படலாம். இவ்வாறே மாறுதிசை

மின்னோட்டமும் குறிக்கப்படும். இதில் ஓர் அரைச்சுற்றுக்கு மட்டும் மின்னோட்டம் ஓடுமாறு செய்து மற்றொரு பாதியான எதிர் அரைச்சுற்றில் மின்னோட்டம் இல்லாதவாறு செய்வதைத் தான் அலைதிருத்தம் செய்வது என்றுகூறுகிறோம். இதைச் செய்யும் கருவி 'அலைதிருத்தி' (Rectifier) எனப்படும். ஒரு செயல்திறம் மிக்க அலைதிருத்தியை ஒரு ஸ்விட்சு போலவே எண்ணிக்கொள்ளலாம். மாறுதிசை மின்னோட்டம் நேர்க்குறி கொண்டிருக்கும் போது இந்த ஸ்விட்சு மூடி மின்னோட்டத்திற்குச் சுழி மின்தடையைக் கொடுக்கிறது. மாறுதிசை மின்னோட்டம் எதிர்க்குறியாக மாறும்போது இந்த ஸ்விட்சு திறந்து மின்னோட்டத்திற்கு முடிவிலா அளவு மின்தடையைத் தருகிறது. எனவே, சுற்றில் மின்னோட்டம் மாறுதிசை மின்னோட்டம் நேர்க்குறியாக இருக்கும் போது மட்டுமே ஓடும், வெற்றிடக்குழல் டயோடுகளும், குறை



படம் 12.21
அரை அலைதிருத்தியின் சுற்றும் அலைவடிவங்களும்

கடத்தி *p-n* சந்தி டயோடுகளும் இவ்வாறு செயல்புரிந்துதாம் அலைதிருத்திகளாகப் பயன்படுகின்றன. அலைதிருத்திகளில் முக்கியமாக மூன்றுவகைகள் உண்டு.

1. அரை அலை அலைதிருத்தி.

2. முழு அலை அலைதிருத்தி.

3. இணைப்பு வகை அலைதிருத்தி; பால அமைப்பு.

இவற்றின் சுற்றுப்படங்கள் படம் 12·21-ல் காண்பிக்கப் பட்டுள்ளன.

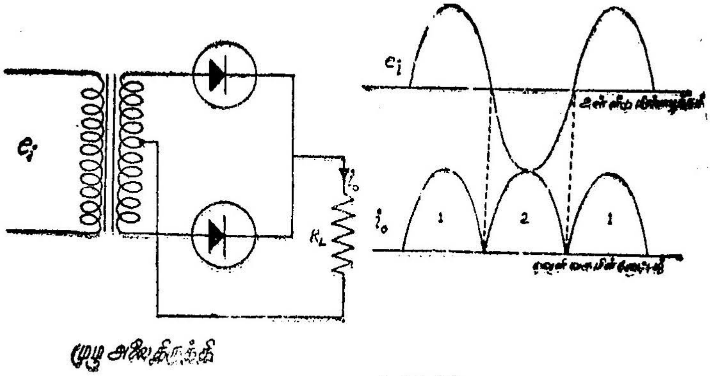
இதில் படம் 12·21-ல் ஓர் அரை அலைதிருத்தி காண்பிக்கப் பட்டுள்ளது. குறைகடத்தி டயோடு மின்மாற்றியின் துணைச்

சுற்றுக்குத் தொடராக இணைக்கப்பட்டுள்ளது. R_L என்பது பளுத் தடையாகும். A கொடுக்கப்படும் A-C மின்னழுத்தத்தின் அரைச் சுற்று நேர்க்குறி கொண்டதாக இருக்கும்போதுமட்டும் டயோடு வழியே மின்னோட்டம் செல்லுகிறது. A-C மின்னழுத்தம் எதிர்க் குறி கொண்டிருக்கும்போது டயோடு வழியே மின்னோட்டம் பாயாது. உள்ளீட்டு மின்னழுத்தத்தின் அலைவடிவமும், அரை அலை திருத்தப்பட்டு வெளிவரும் மின்னோட்டத்தின் அலைவடிவமும் அடுத்துக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. வெளிவரு திருத்திய மின்ன ழுத்தத்தின் சராசரி மதிப்பு,

$$E_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{R_L}{R_L + R_f} \int_0^{\pi} I_m \sin wt \, dwt$$

$$E_0 = \frac{E_m R_L}{\pi (R_L + R_f)},$$

R_f-என்பது டையோடின் முன்னோக்கிய மின் தடை.



படம் 12.22
முழு அலைதிருத்தியின் சுற்றும் அலைவடிவங்களும்

அடுத்துப் படம் 12·22-ல் ஒரு முழு அலைதிருத்தியின் சுற்றுப் படமும் அலை வடிவங்களும் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. A-C மின் னழுத்தம் நேர்க்குறி கொண்டிருக்கும்போது டையோடு-1 வழியே மின்னோட்டம் பாயும். A-C-ன் மின்னழுத்தம் எதிர்க்குறி கொண் டிருக்கும்போது டையோடு-1 மின்னோட்டத்தைக் கடக்காதிருக்க டையோடு 2-வழியே மின்னோட்டம் பாயும்.

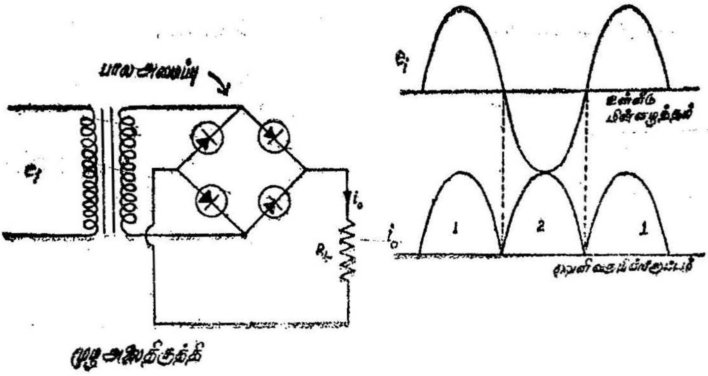
இவ்வாறு டையோடு 1-ம், 2-ம் மாறிமாறி மின்னோட்டத்தை ஓடவிடப் பளுத்தடை வழியே மின்னோட்டமானது தொடர்ந்து

ஓடிக்கொண்டேயிருக்கும். இதில் வெளிவரும் மின்னழுத்தத்தின் அளவு அரை அலை அலைதிருத்தியின் வெளிவரு D.C மின்னழுத்தத்தைப்போல் இருமடங்காக இருக்கும்.

$$E_0 = 2\frac{E_m R_L}{\pi (R_L + R_f)}$$

இதேபோன்று பால அமைப்பு முழு அலைதிருத்தியும் அதன் உள்ளீடு, வெளியீடு அலைவடிவங்களும் கீழேயுள்ள படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன (படம் 12.23). இதில் நான்கு டையோடுகள் இணைக்கப்பட்டுள்ளன.

இதிலிருந்து வெளிவரும் D·C மின்னழுத்தம் ஒரு முழு அலை திருத்தியிலிருந்து வெளிவரும் D·C மின்னழுத்தத்திற்குச் சமமாகவே இருக்கும்.



படம் 12·23
பால அமைப்புக்கொண்ட முழு அலைதிருத்தி

மாறு மின்தேக்கு திறனுடைய டையோடு

ஒரு P-N சந்தி டையோடில் சந்தியின் இருபுறங்களிலும் சம எண்ணிக்கையுள்ள ஆனால் எதிர் எதிர் மின்னூட்டங்கள் குவிந்து விடுவதால் இந்தச் சந்தி ஓர் இணைத்தகடு மின்தேக்கிபோல் ஆகிவிடுவதாக ஏற்கனவே விளக்கப்பட்டிருக்கிறது. அதற்கான மின்தேக்கு திறனையும் கணக்கிட்டுள்ளோம். இது சந்தி மின்தேக்கு திறன் எனப்படும். மின்தேக்கு திறனின் எண்ணளவு சந்தியின் விளைவு, மின்னழுத்தத் தடுப்பின் இருமடி மூலத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கும் எனவும் கணக்கிட்டுக் காட்டப்பட்டுள்ளது.

ஒரு படியாக அமைந்துள்ள $P\text{-}N$ சந்தியின் மின்தேக்கு திறனுக்கான கோவை,

$$C_T = \sqrt{\frac{qE_0 N_D N_A}{2 (N_A N_D)} \cdot \frac{1}{V}}$$

V என்பது விளைவு மின்னழுத்தத் தடுப்பு C_T சந்தியின் மின் தேக்கு திறன்.

$p\text{-}n$ சந்தியான முன்னேக்கிய பயாசில் இருந்தால் விளைவு மின்னழுத்தத் தடுப்பு $(V_B - V_f)$ ஆகும். V_B என்பது மின்னழுத்தத் தடுப்பையும், V_f என்பது முன்னேச்கிய பயாசு மின்னழுத்தத்தையும் குறிக்கும். இந்த முன்னேக்கிய பயாசு மின்னழுத்தத்தால் மின்னழுத்தத் தடுப்பு குறைக்கப்படுவதால் சந்தியின் மின் தேக்குதிறன் அதிகரிக்கிறது. இந்நிலையில் நெருக்கமிழந்த அடுக்கு மின்கடத்தாப்பொருளாகச் செயற்படும். இதன் தடிமன் குறைந்ததாயுமிருக்கும். $p\text{-}n$ சந்தி திருப்பிய திசையில் பயாசு பெற்றிருந்தால் விளைவு மின்னழுத்தத் தடுப்புக்கேற்றவாறு நெருக்கமிழந்த அடுக்கின் அகலம் மிகுதியாகிறது. விளைவு மின்னழுத்தத் தடுப்பு அதிகரிப்பதால் மின்தேக்குதிறன் குறையும். இது எவ்வாறு நடைபெறுகிறது எனில் கொடுக்கப்பட்ட திருப்பு திசை மின்னழுத்தமானது n-பகுதியில் எலக்ட்ரான்களையும் p-பகுதியில் துளைகளையும் சந்தியிலிருந்து விலகிச்செல்லுமாறு இழுத்துவிடுகிறது. எனவேதான் நெருக்கமிழந்த அடுக்கின் அகலம் மிகுதியாகிறது. திருப்பிய பயாசு கொடுக்கப்படும்போது விளைவு மின்னழுத்தத் தடுப்பு $(V_B + V_r)$ ஆகிறது. V_r என்பது $p\text{-}n$ சந்தியில் கொடுக்கப்படும் திருப்பிய பயாசு மின்னழுத்தம் ஆகும். அதனுல் சந்தியின் மின்தேக்கு திறன்,

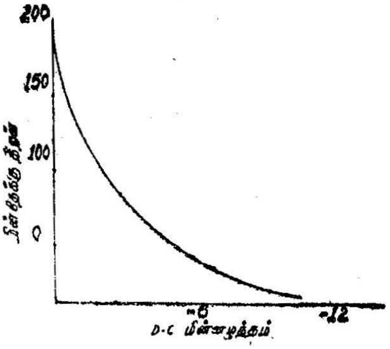
$$C_T = K \ (V_B + V_r)^{-\frac{1}{2}} \text{ ஆகும்.}$$

$$K\text{-என்பது மாறிலி} : K = \left[\frac{qE_0 N_D N_A}{2 (N_A + N_D)}\right]^{-\frac{1}{2}} \text{ ஆகும்.}$$

E_r அதிகரிக்க அதிகரிக்கச் சந்தி மின்தேக்குதிறன் குறைகிறது என்பதை இது காட்டுகிறது. எனவே, மாற்றத்தக்க திருப்பு மின்னழுத்தமானது ஒரு $P\text{-}N$ சந்தி டயோடை மாறு மின்தேக்கியாகச் செயற்பட வைக்கமுடியும். இந்த மாறு மின்தேக்கு திறன் பண்பானது டயோடுகளில் குறிப்பாகச் சிலிக்கான் டயோடுகளில் பயன்படுத்தப் படுகின்றது. இந்த மாறு மின்தேக்கு டயோடிற்குப்

பல்வேறு வணிகப் பெயர்கள் உள்ளன. அவையாவன. பராமெட்ரிக் பெருக்க டயோடு, செமிகாப், வேராக்டர், வேரிகாப் முதலியன ஆகும். படம் 12.24 ஒரு சிலிக்கான் சந்தி டயோடின் மின் தேக்கு திறன் கொடுக்கப்படும் திருப்புதிசை மின்னழுத்தத்தோடு மாறுபடுவதைக் காண்பிக்கிறது.

பராமெட்ரிக் கருவியானது சிலிக்கானின் அடிப்படையில் செயற்படுகிறது. இதன் உருவம் மிகச் சிறியதாக இருப்பதால் இதைச் சிறு கருவிகளிலே பொருத்திவிடலாம். இந்தபராமெட்ரிக் பெருக்கியில் உள்ள சிலிக்கான் டயோடு மின்தேக்கியின் மின் எதிர்ப்பு ஓர் உயர் அதிர்வெண் மின்னழுத்தத்தால் ஓர் இடையீட்டு ஒழுங்கில் மாற்றப்படுகிறது இந்த மாறும் மின் எதிர்ப்பு உள்ளீட்டுச் சைகையைப் பெருக்கித் திறம் கொடுத்து, பளுத் தடைக்கு வரும்படி செய்கிறது. இந்த உயர்வெண் மின்னழுத்தம் 'இறைவை மின்னழுத்தம்' எனப்படும் (pump voltage). இதன் அதிர்வெண் உள்ளீட்டுச்சைகையின் அதிர்வெண்ணின் முழுஎண் பெருக்கலாக இருக்கும்படி அமைக்கப்படுகிறது. இந்தக் குற்றலை பராமெட்ரிக் பெருக்கி மிகக் குறைந்த இரைச்சல் ஒலி (noise) உடையதாய்ச் செயற்படும். ஒரு L-C ஒத்திசைவுச் சுற்றில் மாறும் மின்தேக்கியாகச்சிலிக்கான் மின்தேக்கி பயன்படுத்தப்படலாம். இந்த மாறு மின்தேக்கி டயோடு (பொருத்தமான சுற்றுகளில்) தொடர்ந்து மாற்றப்படும் இசைவுச் சுற்றுகளிலும், தானியங்கி அதிர்வெண் கட்டுப்பாட்டுச் சுற்றுகளிலும், வீச்சுப்பண்பேற்ற சுற்றுகளிலும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.



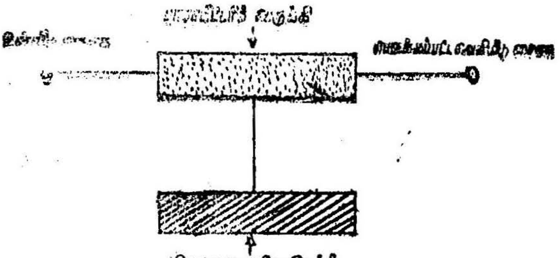
படம் 12.24
மின்னழுத்தத்தோடு மின்தேக்குதிறன் மாறுபாடு

ஜீனர் டயோடு

ஒரு p-n சந்திக்குத் திருப்பிய பயாசு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படும்போது அது மிக உயர்ந்த மின்தடையை அளிக்கிறது. இந்தத் திருப்பிய பயாசு மின்னழுத்தம் சீர்குலைவு மின்னழுத்தத்தின் பக்கமாக உயர்த்தப்படும்போது திடீரென்று மிகப் பெரு

மளவான மின்னோட்டம் டயோடில் ஓடத்தொடங்கும். இது தான் சீர்குலைவு எனப்படுகிறது. இந்நிலையில் டயோடு மிகமிகக் குறைந்த மின்தடையை உடையதாய் இருக்கும். ஜீனர் டயோடு என்பது இந்தச் சீர்குலைவுப் பகுதியில் செயற்படக்கூடிய ஒரு டயோடு ஆகும். எல்லா ஜீனர் டயோடுகளும் சிலிக்கான் *p-n* சந்தியால் ஆனவையே யாகும். அவற்றின் திருப்பு மின்னழுத்த மாறுமிடம் மிகத்துல்லியமாக இருக்கும். படம் 12.26-ல் பல ஜீனர் டயோடுகளின் சிறப்பியல்புக்கோடுகள் காண்பிக்கப் பட்டுள்ளன.

படிகத்தின் மேல்பரப்பு மிக நன்றாகத் தூசு நீக்கப்படுகிறது. அப்போதுதான் பரப்பு ஒழுகு மின்னோட்டங்கள் இன்றி இவை திறம்படச் செயற்படும். இவை தயாரிக்கப்பட்ட பிறகு சீர்குலைவு

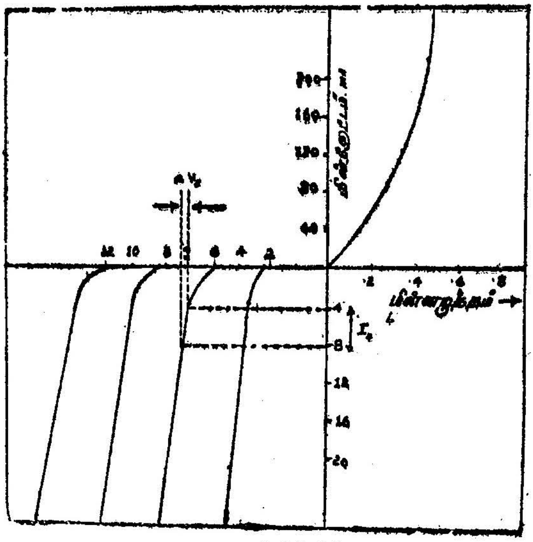


படம் 12-25
பாராமீட்டர் பெருக்கி

மின்னழுத்தத்திற்குத் தக்கவாறு தரம் பிரிக்கப் படுகின்றன. குறைந்த சீர்குலைவு மின்னழுத்தங்கொண்ட டயோடுகளின் சிறப் பியல்புக் கோடுகள் மிகுதியாக வளையாதிருக்கக் காணலாம். இந் நிலையில்தான் ஜீனர் சீர்குலைவு தோன்றும். உயர்ந்த சீர்குலைவு மின்னழுத்தங்கொண்ட டயோடுகளின் சிறப்பியல்புக் கோடுகளில் வளைவானது மிகுதியாக இருக்கக் காணலாம். இந்த நிலையில் சரிவுச் சீர்குலைவு தோன்றுகிறது. ஜீனர் மின்னழுத்தம் என்பது $-V_z$ ஐக் கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கலாம். இது சீர்குலைவுப் பகுதியில் ஜீனர் மின்னோட்டத்தின் மதிப்புக்கு நேரான மின் னோட்டமாகும். ஒரு *A C* சைகை இதன் கூடவே கொடுக்கப்படும் போது ஜீனர் மின்னோட்டம் $-I_z$-ல் வளைகோட்டின் சரிவை அளந்து அறிய முடியும். இதனின்றும் ஜீனர் R_z ஐக் காணலாம்.

$$R_z = \frac{\delta V_z}{\delta I_z}$$

ஜீனர் மின்தடையானது ஏறத்தாழ 6 வோல்ட்டில் 10 ஓமாக இருக்கும். படம் 12.27 ஜீனர் மின்னழுத்தம் V_zக்கும் ஜீனர் மின்தடை R_zக்கும் உள்ள தொடர்பைக் காண்பிக்கிறது. சீர்குலைவு மின்னழுத்தம் குறைவாகவோ, உயர்வாகவோ இருந்தாலும் ஜீனர் மின்தடை விரைவாக உயர்வதைப் படத்திலிருந்து காணலாம். நிலைத்தன்மை பெற்றிருக்க வேண்டுமானால் ஜீனர் மின்னழுத்தம் 6 வோல்ட்டாகவுள்ள ஒரு டயோடைத்தான் எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். இதைவிட அதிகமான மின்னழுத்தம் நிலைத்தன்மை உடையதாக இருக்க



படம் 12.26
ஜீனர்டையோடின் சிறப்பியல்புகள்

வேண்டுமானால் பல 6 வோல்ட் டயோடுகள் தொடராக இணைக்கப்பட வேண்டும். படம் 21.28 ஒரு வெற்றிட டிரையோடின் கிரிட் பயாசு மின்னழுத்தம் ஒரு ஜீனர் டயோடினால் நிலைத்தன்மை உடையதாக ஆக்கப்படுவதைக் காட்டுகிறது.

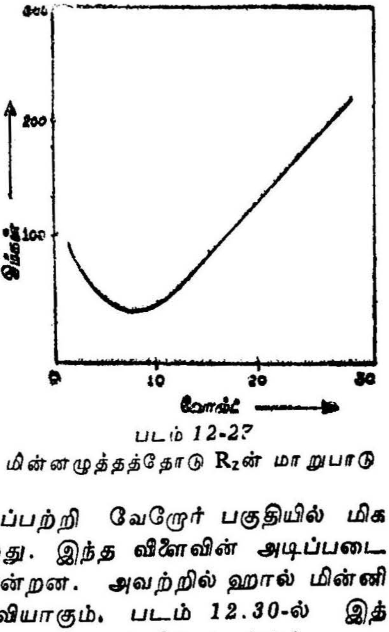
ஜீனர் டயோடின் மற்றொரு முக்கியமான குணம் அதன் ஜீனர் மின்னழுத்தத்தின் வெப்பநிலைக் குணம் α_z ஆகும். மற்ற குறைகடத்திக் கருவிகளைப்போலவே ஜீனர் டயோடுச் சிறப்பியல்புகளும், வெப்பநிலை சார்ந்ததாகவே இருக்கின்றன. எனவே, ஜீனர் மின்னழுத்தம் $-V_z$ வெப்பநிலையைச் சார்ந்திருப்பதால் நிலைத்தன்மையைத் தோற்றுவிப்பதில் சிக்கலை

உண்டாக்கலாம். ஜீனர் மின்னழுத்தத்தின் வெப்பநிலைக் குணகத்தைக் கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கலாம். ஓரலகு ஜீனர் மின்னழுத்தத்தில் தோன்றும் மாறுபாட்டிற்கும் அது தோற்றுவிக்கும் வெப்பநிலை மாறுபாட்டுக்கு முள்ள தகவே இந்தக் குணகமாகும்.

$$\alpha_z = \frac{1}{V_z} \cdot \frac{\delta V_z}{\delta T}$$

ஜீனர் மின்னழுத்த வெப்பநிலை குணகம் 10^{-4}/செ.கி. அளவி லிருக்கும். ஜீனர் மின்னழுத்தம் 3 வோல்ட்டுக்குக் குறைவாக வுள்ள ஜீனர் டயோடுகளை உருவாக்குவது கடினம். ஜீனர் மின்னழுத்தமும், அதன் வெப்பநிலைக் குணகமும் எவ்வாறுத் தொடர்புடையது என்பதைப் படம் 12.29 காட்டுகிறது.

ஜீனர் டயோடுகள் எலக்ட்ரானியல் சுற்றுகளில் நிலைத் தன்மையைத் தோற்றுவிக்கப் படவேண்டிய இடங்களில் வாயுமின்னிறக் குழல்களுக்குப் பதிலாக இவற்றைப் பயன் படுத்தலாம்.



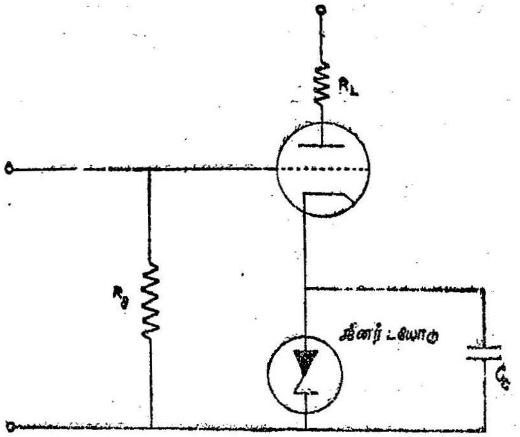
படம் 12-29
மின்னழுத்தத்தோடு R_zன் மாறுபாடு

ஹால் மின்னியற்றிகள்

குறைகடத்தி ஒரு காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்படும்போது அதிலுள்ள மின்னூட்டம் பெற்ற ஊர்திகள் நகர்ந்து கொண்டிருந்தால் அவை விலக்கமடையும். இது ஹால் விளைவு என்று சொல்லப்படு கிறது. இந்த ஹால் விளைவைப்பற்றி வேறோர் பகுதியில் மிக விளக்கமாகச் சொல்லப்படுகிறது. இந்த விளைவின் அடிப்படை யில் பல கருவிகள் செயற்படுகின்றன. அவற்றில் ஹால் மின்னி யற்றி ஒரு முக்கியமான கருவியாகும். படம் 12.30-ல் இத் தகைய ஒரு மின்னியற்றி அமைப்புக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

இண்டியம் ஆர்சினைடு அல்லது இண்டியம் ஆன்டிமொனைடு குறைகடத்தியால் செய்யப்பட்ட ஒரு பாளம்-மெல்லிய தடிம னுடைய பாளம் இருக்கிறது. இவை இரண்டிலும்தாம் ஹால்

விளைவு மிகுதியாக இருக்கக்காணலாம். அத்தோடு மிகுதியாக வெப்பநிலைச் சார்பற்றும் இருக்கும். பாளத்தின் நான்கு பக்கங்களிலும் (ஓம்) தடைத் தொடுப்புகள் இணைக்கப்படுகின்றன. ஒரு வலிமை வாய்ந்த காந்தப்புலம் B- பாளத்தின் பரப்புக்குச் செங்குத்தாக Y திசையில் கொடுக்கப்படுகிறது. அதேநேரத்தில் அதற்குச் செங்குத்தான x திசையில் பாளத்தினுள்ளே I_x மின்னோட்டம் இருக்குமாறு ஒரு மின்கல அடுக்கு இணைக்கப்படுகிறது. ஹால் விளைவின் பயனாகக் காந்தப்புலத் திசைக்கும், மின்னோட்டத் திசைக்கும் செங்குத்தான Z திசையில் ஹால்மின்னழுத்தம் V_H தோன்றும். இவ்வாறு தோன்றும் ஹால் மின்னழுத்தத்தின் அளவு p-வகைக் குறைகடத்தியில் கீழ்க்கண்ட வாய்பாடால் தரப்படும்.



படம் 12.28

ஜீனர் டையோடு கிரிடுபயாசை நிலைத்தன்மையுடையதாக ஆக்கல்

$$V_H = \frac{3 \times 10^{-4} B_Y I_x}{8\ pq\ d}$$

B_Y - காந்தப் பாயச் செறிவு வீபர்/சதுரமீட்டரில் d - பாளத்தின் தடிமன்; P - துளைச்செறிவு.

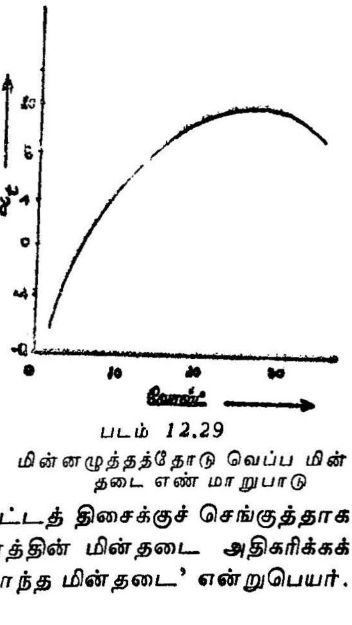
மின்னூட்டம்பெற்ற ஊர்திகள் காந்தப்புலத்தில் செல்லும்போது விலக்கமடைந்து பாளத்தின் இரு ஓரங்களிலும் குவிகின்றன. ஓர் ஓரத்தில் நேர் மின்னூட்ட ஊர்தியும், எதிர் ஓரத்தில் எதிர் மின்னூட்ட ஊர்தியும் குவியும் காந்தப் புலத்தினுள்ள விசை நிலைமின் விசையைச் சரிசெய்யும்வரை இந்த மின்

ஊர்திக் குவிப்பு நடைபெறும். இதனுல்தான் 'ஹால் விளைவு' தோன்றுகிறது. படம் 12,31-ல் இந்த ஹால் மின்னழுத்தம் காந்தப் புலத்தோடும் உள்ளீடு மின்னேட்டத்தோடும் எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதைக் காட்டுகிறது.

இந்த ஹால் விளைவு காந்தப் புலங்களைக்கொண்டு அளந்தறிவதற்கும், ரேடியோ அதிர்வெண் அளவீட்டிற்கும், குற்றலைத் திறனைக் கணக்கிடுவதற்கும் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

காந்தத்தடை

ஓர் இண்டியம் ஆன்டிமொனைடு அல்லது இண்டியம் ஆர்சினைடு குறைகடத்திப் பாளத்தை எடுத்துக்கொண்டு அதன் இருபக்கங்களில் தொடுப்பு இணைப்புகள் படம் 12 32-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் இணைக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம்.



படம் 12.29
மின்னழுத்தத்தோடு வெப்ப மின் தடை எண் மாறுபாடு

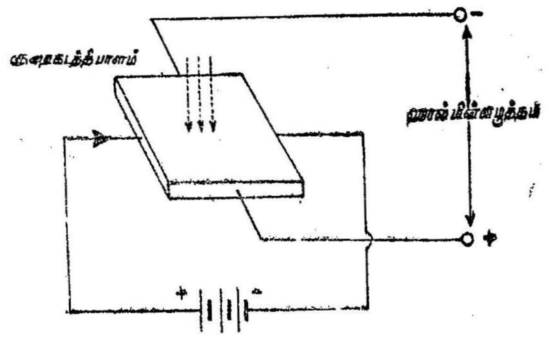
பாளம் மெல்லிய தடிமனுடையதாக இருக்கும். E மின்னியக்கு விசையுள்ள ஒரு மின்கல அடுக்கு இந்தத் தொடுப்புகளுக்கு இணைக்கப்பட்டுப் பாளம்வழியே மின்னேட்டம் ஓடுமாறு செய்யப்படுகிறது. ஒரு காந்தப்புலம் B_Y பாளத்தின் மேற்பரப்பில் மின்னேட்டத் திசைக்குச் செங்குத்தாக விழும்படி செய்தால் படிகப் பாளத்தின் மின்தடை அதிகரிக்கக் காணலாம். இந்தச் செயலுக்கு 'காந்த மின்தடை' என்றுபெயர்.

படம் 12.33-ல் காந்தப்புலத்தின் வலிமையோடு இந்த மின்தடை எவ்வாறு உயருகிறது என்பது காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

பாளத்தின் மின்தடை மாற்றம் காந்தப்புலத்தின் வலிமைக்கு நேர்விகிதத்தில் இருக்கிறது. இந்தக் காந்த மின்தடை கட்டுப்பாட்டுச் சுற்றுகளிலும் பெருக்கிச் சுற்றுகளிலும் பெரிதும் பயன்படுத்தப் படுகின்றது.

டெட்ரோடு டிரான்சிஸ்டர்கள்

சில சமயங்களில் ஒரு டிரான்சிஸ்டர் அடிவாய்ப் பகுதியின் மின்தடையை (γ_b)மிகுந்த அளவு குறைக்க வேண்டியிருக்கும். அடிவாய்ப் பகுதியின் மின்தடை அதில் வந்தடையும் மின்னூட்ட ஊர்திகளைப் பொறுத்து அமையும். இந்த மின்னூட்ட ஊர்திகள் பெரிதும் பரவி அடிவாய்ப் பகுதியின் பெரும்பான்மை இடங்கள் வழியே சென்றால் மின்தடை மிகுதியாயிருக்கும். ஏதாவது ஒருவழியில் சிறுபான்மை ஊர்திகளை அடிவாயின் ஒரு பகுதியில் மட்டும் இயங்குமாறு செய்து அவை அடிவாயின் ஒரு சிறிய பகுதி வழியே கடந்து செல்லும்படி செய்தால், அடிவாயின் மின்தடை

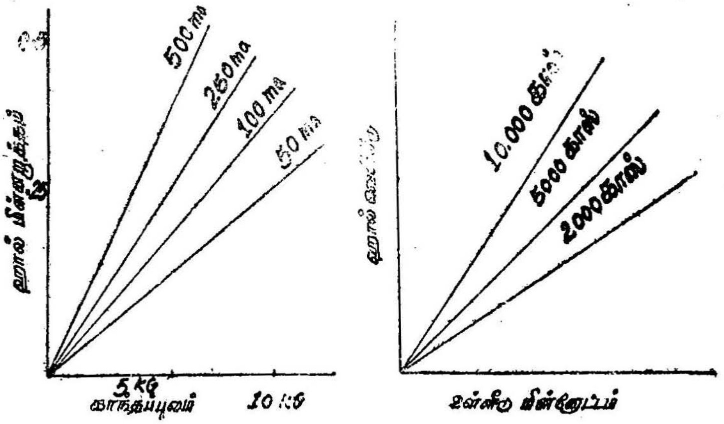


படம் 12.30
ஹால் விளைவைத் தோற்றுவிக்கும் சுற்றமைப்பு

மிகத் தாழ்ந்த மதிப்புக்குக் குறைந்துவிடும். ஒரு டெட்ரோடு டிரான்சிஸ்டர் இந்தத் தத்துவத்தின் அடிப்படையில்தான் உருவாக்கப்படுகிறது. டெட்ரோடு டிரான்சிஸ்டரில் ஒரு நான்காவது இணைப்பு உண்டு. அடிவாய்ப்பகுதி 2 என்று கூறலாம். அது எதிர்ப் பயாசைப் பெற்றிருக்கும். படம் 12.34-ல் ஒரு டெட்ரோடு டிரான்சிஸ்டரும் (*npn*) அதற்குக் கொடுக்கப் பட்டுள்ள பயாசுகளும் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. அடிவாய் 2 இணைப்புக்கு ஓர் எதிர் மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது.

இந்த எதிர் மின்னழுத்தமானது உமிழ்வாயிலிருந்து அடி வாய்ப்பகுதியில் உட்புகுத்தப்பட்ட சிறுபான்மை ஊர்தி எலக்ட் ரான்களின்மீது ஒரு விலக்கு விசையைக் கொடுக்கும். இதனால் எலக்ட்ரான்கள் அடிவாய்ப் பகுதியின் கீழ்மட்டத்தில் ஒதுங்கி ஒரு சிறிய இடத்தில் மட்டுமே நகர்ந்துசெல்லும். இவ்வாறு எலக்ட் ரான்கள் அடிவாய்ப் பகுதியில் பரவி ஓடாமல் தடுக்கப்பட்டு ஒரு

குறுகிய இடத்தில் மட்டுமே ஓடும்படி செய்வதால் அடிவாய்ப் பகுதியின் மின்தடை γ_0 மிகவும் குறைந்துவிடுகிறது. Rஎன்ற மின்தடை அடிவாய்ப் பகுதி 2-க்குத் தொடராக இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இது காந்தச்சுற்றில் ஓடும் மின்னோட்டம் i_{b2} வை ஒரு குறிப்பிட்ட வரம்புக்கு உட்பட்டு ஓடும்படி செய்கிறது. அடிவாய்ப் பகுதி 2க்குக் கொடுக்கப்பட்டுள்ள பயாசு எடுக்கப்பட்டுவிட்டால் இந்த டெட்ரோடு டிரான்சிஸ்டர் ஒரு வழக்கமான டிரான்சிஸ்டர் போலவே செயற்படும். உமிழ்வாய், ஏற்புவாய் ஆகியவை ஒரு வழக்கமான டிரான்சிஸ்டருக்குப் போலவே இணைப்புகள் கொடுக்கப்படுகின்றன.



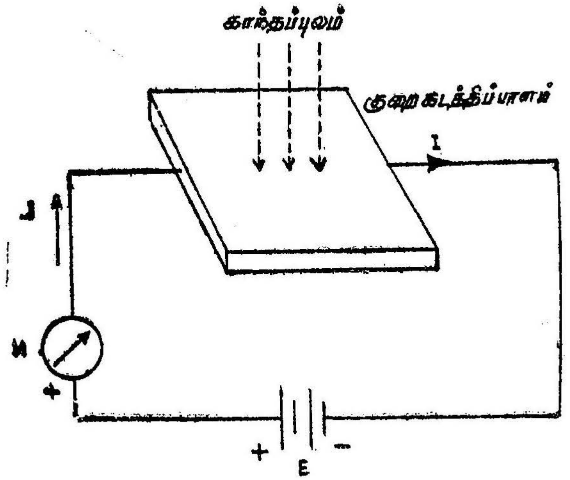
படம் 12.31

ஒரு டெட்ரோடு டிரான்சிஸ்டர் மிக உயர்ந்த அதிர்வெண்களில் செயற்பட முடியும். ஏறத்தாழ 150 மெகா ஹெர்சு வரை இது செயற்படும். இதன் ஏற்புவாய் மின்தேக்குதிறன் மிகமிகக் குறைவு. ஏறத்தாழ 3 மைக்ரோ மைக்ரோ ஃபாரட் அளவு இருக்கும். ·025 மைக்ரோ விநாடியில் விரைவாக அது செயற்படும். உள்ளிடு மின்தடை மிகமிகக் குறைவு. 30 ஓம் வரை இருக்கும். வெளியிடு மின்தடை ஏறத்தாழ 5000 ஓம் வரை இருக்கும்.

குறைகடத்தித் திரிபு அளவி

ஒரு பொருளின்மீது ஒரு விசை செயற்படும்போது அதன் உருவ அமைப்பு மாறுபடலாம். பளுவினாலும், தகைவினாலும், ஒரு பொருள் எவ்வளவு விரிவடைகிறது அல்லது வளைகிறது என்பதை அளந்தறிய வேண்டியிருக்கலாம். பொருள் அடையும் உருவ

மாறுபாட்டு அளவைத்தான் திரிபு என்கிறோம். இந்தத் திரிபை அளக்கப் பயன்படும் கருவிகள் 'திரிபு அளவிகள்' எனப்படும். (Strain gauges) சாதாரணமாக ஒரு மெல்லிய கம்பி திரிபு அளவியாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இந்த மெல்லிய கம்பி திரிபு காணப்படவேண்டிய பொருளுக்குப் பொருத்தப்படும். பொருள் பளுவினால் நீட்சி அடையும்போது அத்துடன் பொருத்தப் பட்டுள்ள கம்பியும் நீட்சி அடையும். நீட்சி அடைந்த கம்பியின் மின்தடை உயர்ந்துவிடுகிறது. இந்த மின்தடை உயர்வை 'வீட்ஸ்டோன் சமனச் சுற்று' கொண்டு அளந்தறியலாம். இதனின்றும் திரிபு கணக்கிடப்படுகிறது. இந்தக் கம்பி அளவிகள் பயன்படுத்தப்படுவது இப்போது கைவிடப்பட்டு விட்டது. குறைகடத்தி ஆன திரிபு அளவிகள் இப்போது நடைமுறையில் பயன்படுத்தப்பட்டு வருகின்றன. இவை கம்பி அளவிகளைவிட 100 மடங்கு உணர்திறன் மிக்கவை. இவற்றைப் பயன்படுத்தி இழுவிசையையோ, அழுத்தத் திரிபையோ, முறுக்கையோ அளந்தறியலாம்.

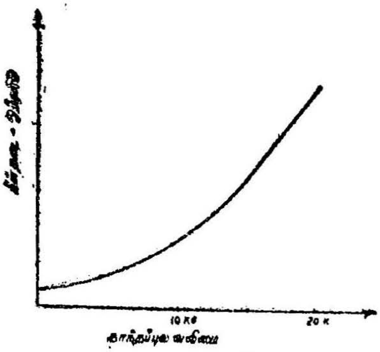


படம் 12.32
காந்தத்தடையைக் காட்டும் சுற்றமைப்பு

ஜெர்மேனியமும், சிலிக்கானும் இந்தவகையான திரிபு அளவிகளைத் தயாரிப்பதற்கு மிகவும் பொருத்தமானவை. இப்போது காலியம் ஆர்சினைடில்கூட இத்தகைய திரிபு அளவிகள் செய்யப்படுகின்றன. படம் 12.35-ல் ஒரு திரிபு அளவியின் அமைப்புக் காட்டப்பட்டுள்ளது.

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 என்பவை இணைப்புகள் கொடுக்கக்கூடிய புள்ளிகள். 3, 7 புள்ளிகளுக்கிடையே ஒரு பயாசு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படுகிறது. இதேபோன்று 4, 6 இடையேயும் பயாசு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படும். இப்போது 1, 2க்கு இடையே மின்னழுத்த வேறுபாட்டை அளந்தால் சுழியாக இருக்கும். அதாவது 1-ம், 2-ம், ஒரே மின்னழுத்தத்தில் இருக்கும். இவை பொருத்தப்பட்டுள்ள பொருளானது முறுக்கு அடைந்தால் 1, 2 புள்ளிகளுக்கிடையே மின்னழுத்த வேறுபாடு தோன்றும். இந்த மின்னழுத்த வேறுபாடு பொருளில் ஏற்படும் முறுக்குக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும்.

வெப்ப மின் வகையில் குளிர் வித்தல்



படம 12.33
காந்தப்புல வலிமையோடு மின் தடை மாறுபாடு

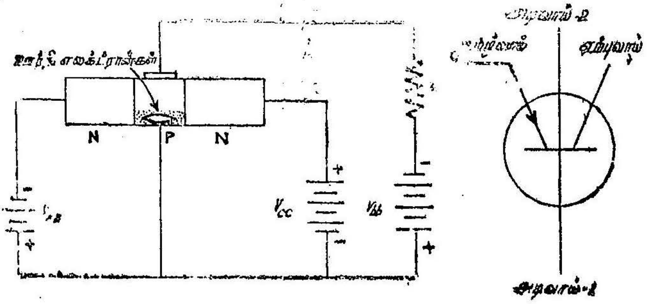
பெல்டியர் விளைவின்படி ஒரு மின்னோட்டமானது ஒரு வெப்ப மின் இரட்டை (Thermo couple) வழியாகச் செல்லும்போது மின்னிரட்டையின் ஒரு சந்தியில் வெப்பம் தோன்றும். மற்றொரு சந்தி குளிர்ச்சியடைகிறது. இந்த பெல்டியர் விளைவை (Peltier effect) மிக எளிதாகக் காணமுடியாது. ஏனெனில், இது மிகக் குறைவாகவே ஏற்படுகிறது. மேலும் சந்தியில் தோன்றும் குளிர்ச்சியானது ஜீல் (Joule) விளைவால் ஏற்படும் வெப்பத்தினுல் சரிசெய்யப்பட்டுவிடும். எனவே, இந்த பெல்டியர் விளைவின் அடிப்படையில் ஒரு குளிர் சாதனத்தைத் தோற்றுவிக்க முடியவில்லை.

50 வால்ட் திறனுள்ள ஒரு குளிர்சாதன அமைப்புக்கு வெப்ப மின் இரட்டைகள் பயன்படுத்தப் படலாம். இது ஏறத்தாழ 0.2 வோல்ட்டில் 1500 ஆம்பியர் வரை மின்னோட்டத்தை எடுத்துச் செல்ல வேண்டியிருக்கும். இது நடைமுறையில் முடியாதது. எனவே, ஏறத்தாழ 300, 400 Pவகை, nவகைக் குறைகடத்திகளாலான மின் இரட்டைகள் ஒன்ருக இணைக்கப்பட்டு இவை 20 வோல்ட்டில் செயற்படும்படி செய்யப்படுகின்றன. இந்தக் குறைகடத்தி அமைப்பில்தான் 1500 ஆம்பியர் அளவு மின்னோட்டம் இருக்கமுடியும். ஏறத்தாழ 90°C வெப்பநிலைக் குறைப்பை இதில் ஏற்படுத்தலாம்.

இந்த அமைப்பில் மின்னோட்டத்தைத் திசைமாற்றி அனுப்பினால், குளிர் சாதனத்துக்குப் பதிலாக வெப்பமளிக்கும் சாதனமாகச் செயற்படுகிறது. குளிர்காலங்களில் வீடுகளிலுள்ள அறைகளை வெப்பமூட்டுவதற்கு இச் சாதனத்தைப் பயன்படுத்தலாம். படம் 12·36-ல் இத்தகைய ஓர் அமைப்புக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டர் (Unijunction Transistor)

ஒரு டிரான்சிஸ்டரில் வழக்கமாக ஓர் அடிவாய் இணைப்பு தான் இருக்கும். ஆனால் ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டரில் இரண்டு அடிவாய்ப் பகுதிகள் உள்ளன. எனவே, இது முதன்முதலில் இரட்டை அடிவாய் டையோடு (double base diode) எனக் கூறப்பட்டது. பிறகு, இதில் ஒரே ஒரு சந்தி மட்டுமே இருப்பதால் ஒற்றைச் சந்தி டையோடு என அழைக்கப்பட்டது.



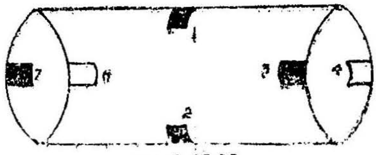
படம் 12·34
நான்முனை டிரான்சிஸ்டரும் பயாசு அமைப்பும்

ஓர் ஒற்றைச்சந்தி டிரான்சிஸ்டர் அமைப்பு மிக எளிதானது. இதில் ஒரு *n*-வகைச் சிலிக்கான் கட்டை வடிவில் உள்ளது. இது சீராகத் தூசு கலக்கப்பட்டிருக்கும். இதன் இரு முனைகளிலும் தடைத் தொடுப்புகள் பொருத்தப்பட்டிருக்கும். நடுப்பகுதியில் ஒரு *P*-வகைப் பகுதி சேர்க்கப்பட்டு ஒரு *P-N* சந்தி உருவாக்கப்பட்டிருக்கும். முனைகளிலுள்ள தடைத்தொடுப்புகள் அடிவாய்-1, அடிவாய்-2 என்று சொல்லப்படுகின்றன. அறை வெப்ப நிலையில் இரு அடிவாய்களுக்குமிடையேயுள்ள மின்தடை 5 கிலோ ஓமிலிருந்து 12 கிலோ ஓம் வரை இருக்கும். நடுப்பகுதியிலுள்ள சந்திக்கு ஓர் அலுமினியம் கம்பி இணைக்கப்பட்டிருக்கும். இது 'உமிழ்வாய்' எனக் கூறப்படுகிறது.

இரு அடிவாய்களும் ஒன்றாக இணைக்கப்பட்டால் அது ஒரு வழக்கமான டையோடாகச் செயற்படும். அலுமினியம் கம்பி

ஓர் இணைப்பாகவும், ஒன்றாக இணைக்கப்பட்ட அடிவாய்கள் ஓர் இணைப்பாகவும் இருக்கும். ஆனால், அடிவாய்ப் பகுதிகள் பிரிக்கப்பட்டு இரண்டிற்குமிடையே ஒரு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்பட்டால்தான் இது ஓர் ஒற்றைச்சந்தி டிரான்சிஸ்டராகச் செயற்படும். படம் 12.37-ல் காட்டியுள்ளது போல் ஒரு மின்னழுத்தம் ஏறத்தாழ 20 வோல்ட் கொடுக்கப்படுகிறது. இந்த 20 வோல்ட் மின்னழுத்தம் முதல் அடிவாய்ப்பகுதி B_1-க்கும், இரண்டாம் அடிவாய்ப்பகுதி B_2-க்கும் இடையே கொடுக்கப்படும் போது சிலிக்கான் கட்டையின் நீளவாக்கில் ஒரு சீரான மின்னழுத்த வீழ்ச்சியைத் தோற்றுவிக்கும். உமிழ்வாயானது சிலிக்கான் கட்டையின் நடுப்பகுதியில் அமைந்திருப்பதால் அதற்கும் B_1-அடிவாய்ப்பகுதிக்கும் + 10 வோல்ட் மின்னழுத்த வேறுபாடு இருக்கும்.

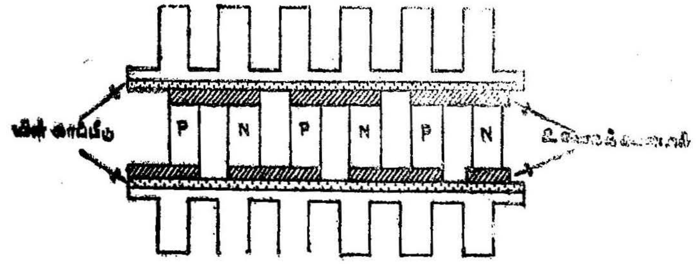
இப்போது + 10 வோல்ட்டுக்கும் குறைவான எந்த ஒரு மின்னழுத்தமும் உமிழ்வாய் இணைப்புக்குக் கொடுக்கப்பட்டால் உமிழ்வாய் P-N சந்தி திருப்பிய பயாசைப் பெறும். இதனால் மிகக் குறைந்த மின்னோட்டமே உமிழ்வாய்ச் சுற்றில் ஓடும்.


படம் 12·35
குறைகடத்தித் திரிபு அளவி

உமிழ்வாய் மின்னழுத்தம் +10 வோல்ட் வரைதான் P-Nசந்தி திருப்பு பயாசைப் பெற்றிருக்கும். இந்த மின்னழுத்தம் +10 வோல்ட்டுக்கு எப்போது அதிகமாகிறதோ அப்போதே P-Nசந்தி முன்னேக்கிய பயாசைப் பெற்றிருக்கும். உடனே P-Nசந்தியில் உமிழ்வாய்த் துளைகளைச் சிலிக்கான் கட்டைக்குள் புகுத்திவிடும். இந்தத் துளைகள் B_1-அடிவாய் நோக்கி ஈர்க்கப்பட்டு ஓடும். எனவே, உமிழ்வாய் B_1 சுற்றில் மின்னோட்டம் அதிகரிக்கும். இந்த மின்னோட்டம் மிக விரைவில் பெருமளவு உயர்ந்துவிடும். ஏனெனில் உட்புகுந்த துளைகள் ஏராளமான எலக்ட்ரான்களை இப்பகுதிக்கு ஈர்க்கும். இந்த எலக்ட்ரான்களின் ஓட்டத்தால் சிலிக்கான் கட்டையின் (உமிழ்வாய் B_1 அடிவாய்ப்பகுதியிடையே) மின்தடை திடீரென்று குறைந்துவிடுகிறது. எனவே, இந்த ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டரானது ஒரு வாயு அடைக்கப்பட்ட 'தைரேட்ரான்' (Thyratron) போன்று செயல் முறையைக் கொண்டிருக்கிறது எனக் கூறலாம்.

சிலிக்கான் கட்டையின் வெப்ப நிலையும் B_1, B_2 அடிவாய்ப் பகுதிகளிடையேயுள்ள மின்னழுத்தமும்தாம் இந்தக் கட்டுப்படுத்தும் மின்னழுத்தத்தைத் தீர்மானிக்கின்றன. இந்தக் கட்டுப்

படுத்தும் மின்னழுத்தம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை அடையும்வரை ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டர் திருப்பிய பயாசிலிருந்து மின்னோட்டம் ஓடாது பார்த்துக்கொள்ளும். கட்டுப்படுத்தும் மின்னழுத்தம் இந்தக் குறிப்பிட்ட அளவைத் தாண்டியவுடனேயே உமிழ்வாய் P-Nசந்தி முன்னோக்கிய பயாசைப் பெற்றதாக மாறி விடும். உடனடியாக B_1-க்கும் உமிழ்வாய்க்குமிடையே மின்தடை திடீரென்று வீழ்ந்து கடத்துதிறன் பெருமளவு அதிகரித்து விடும். எனவே, உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் உச்ச மதிப்பைக் குறுகிய நேரத்தில் (1-மைக்ரோ வினாடிக்கும் உள்ளாக) அடைந்து விடும். படம் 12.38-ல் ஓர் ஒற்றைச் சந்தியின் சிறப்பியல்பு வளை கோடு காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதில் மூன்று பகுதிகள் உள்ளன. முதல்பகுதி A-என்று குறிக்கப்பட்டுள்ளது. இது மின்னோட்டம் ஓடாத பகுதி. இதில் உமிழ்வாய் திருப்பு பயாசைப் பெற்றிருக்கும். B_1-க்கும் உமிழ்வாய்க்குமிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் உயரும்போது அதற்குகந்தாற்போல் உமிழ்வாய்ச் சுற்றில் மின்னோட்டமும் உயரும். இது ஏறத்தாழ 10 மைக்ரோ

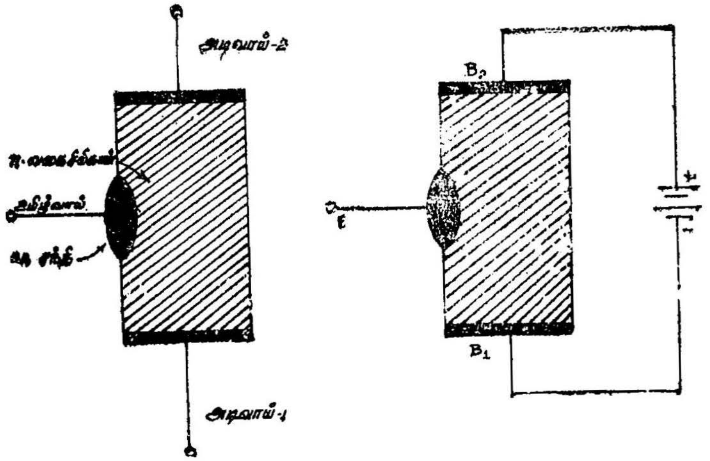


படம் 12·35
வெப்ப மின் அடுக்கு

ஆம்பியர் இருக்கும். இது P-N சந்தியின் திருப்புதிசை தெவிட்டிய மின்னோட்டத்திற்கு ஒப்பானது. A-பகுதி முடிவடையும் புள்ளியில், உச்சி என்று குறிக்கப்பட்ட புள்ளியை மின்னழுத்தம் அடைந்தவுடன் டிரான்சிஸ்டர் வழியே மின்னோட்டம் பெருமளவு ஓட மின்னழுத்தம் வீழ்ச்சியடைகிறது. இந்தப் பகுதி-B எதிர் மின்தடைப் (negative resistance) பகுதி எனப்படுகிறது. இந்தப் பகுதிதான் ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்புக்குணத்திற்குக் காரணமானது மின்னழுத்தம் ஒரு குறிப்பிட்ட சிறும மதிப்பை அடைந்தவுடன், இந்த டிரான்சிஸ்டர் ஒரு நேர்மின்தடைபோல் செயற்படத் தொடங்குகிறது. அதாவது மின்னோட்டம் மின்னழுத்தத்தோடு அதிகரிக்கத் தொடங்குகிறது. இந்தப் பகுதியை (C) 'தெவிட்டியபகுதி' என்று கூறலாம்.

ஓர் இரம்பப்பல் வடிவ அலையைத் தோற்றுவிக்கும் அலையியற்றி ஒன்றின் சுற்று படம் 12.39-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. தொடக்கத்தில் மின்தேக்கி-C மின்னூட்டமற்று இருப்பதாகக் கொள்வோம். எனவே, உமிழ்வாய் மின்னழுத்தம் சுழியாக இருக்கும். C மின்கல அடுக்குக்கு மின்தடை R வழியே இணைக்கப்பட்டிருப்பதால் அது சிறிது சிறிதாக மின்னேூட் டத்தைப் பெறும்,

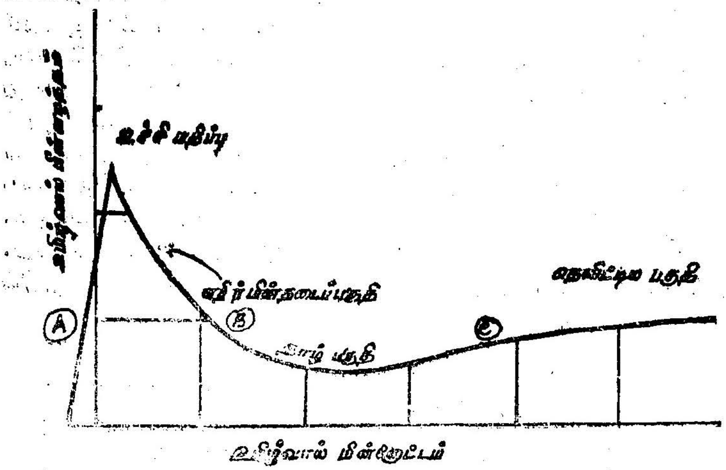
ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்திற்குப்பிறகு உமிழ்வாய் நேர்த்திசைப் பயாசைப் பெறும் அளவுக்கு C-முனைகளிடையே மின்னழுத்தம் உயர்ந்துவிடும். இந்நிலையில் டிரான்சிஸ்டர் திடீரென்று மின்னோட்டத்தை ஓடவிடும். இந்நிலையில் மின்தேக்கி-C ஆனது தடை குறைந்த B_1 உமிழ்வாய்ச் சுற்றின் வழியே மின்னூட் டத்தை விரைவாக இறக்கிவிடும். மின்னிறக்கம் முடிந்தவுடன் டிரான்சிஸ்டர் துவக்கநிலைக்குத் திரும்பி மின்கடத்தா நிலையை அடைந்துவிடும். மீண்டும் C மின்னூட்டம் பெறத்தொடங்கும், இது மீண்டும் மீண்டும் சுற்றுமுறையில் (cyclic) நடைபெறுகிறது, இந்தச் சுற்றில் தோற்றுவிக்கப்படும் அலையின் வடிவமும் படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 12·37
ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டர்

மின்தேக்கி C-ன் முனைகளுக்கிடையே தோன்றும் மின்னழுத்தம் இரம்பப்பல் (அலை) வடிவமுடையது. இது மெல்ல உயர்ந்து, விரைவாக வீழ்ந்துவிடும் தன்மையுடையது.

டிரான்சிஸ்டர் கடக்கும் நிலையை அடையும்போது சிலிக்கான் கட்டையில் முழுவதுமே மின்னோட்டம் இருக்கும். B_2அடிவாய்க் கும் மின்கல அடுக்குக்குமிடையே ஒரு சிறிய மின்தடை இணைக்கப் படுமானால் ஓர் எதிர்க்குறித் துடிப்பு (negative Pulse) கிடைக்கும். B_1-க்கும் மின்கல அடுக்கின் எதிர் மின்வாய்க்குமிடையே இந்தத் தடை இணைக்கப்பட்டால் நேர்க்குறித் துடிப்பு (Positive Pulse) கிடைக்கும்.



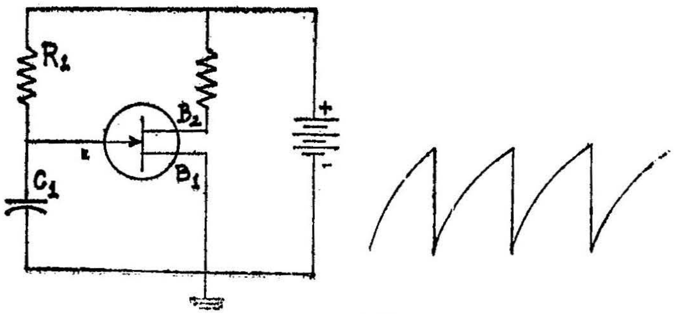
படம் 12·38

ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்பு வளைகோடு

இந்தச் சுற்று மிகமிக எளிதானது. இதற்கு இரண்டே இரண்டு மின்தடைகளும் ஒரேஒரு மின்தேக்கியும் தாம் தேவை. இரம்பப்பல் அலைவடிவ மின்னழுத்தம் கிடைத்தால் போதும் என்று நினைத்தால் இரண்டாவது மின் தடையையும் விட்டு விடலாம்.

இதே ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டரைப் பல் அதிர்வியாகவும் (multi vibrator) பயன்படுத்தலாம். இந்த டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்புக் கோட்டைக் கவனித்தால் இதில் B_1-உமிழ்வாய்ச் சுற்றில் தேவையான அளவு மின்னோட்டம் இருக்கும்வரை டிரான்சிஸ்டரானது விரைவுக் கடத்தியாக இருக்கும் என்று தெரிகிறது. மின்னோட்டம் தேவையான அளவு குறைந்தவுடன், டிரான்சிஸ்டரானது கடத்தாநிலைக்குத் திரும்பிவிடுகிறது இந்தக் குணத்தால்தான் இது இரம்பப்பல் அலையியற்றியாகச் செயற் படுகிறது.

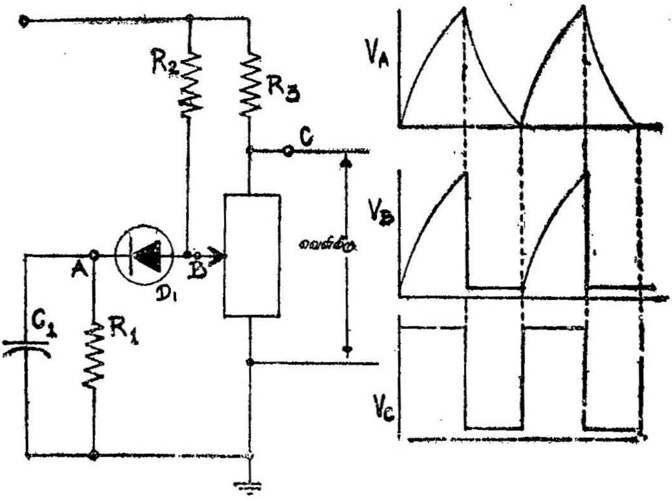
படம் 12.40-ல் ஒரு பல் அதிர்வியின் சுற்றுப்படத்தைக் காட்டுகிறது. இதில் இந்த ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டர் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது. துவக்கத்தில் மின்தேக்கி-C_1 மின்னூட்டமற்று இருக்கும். மின் ஆற்றல் கொடுக்கப்பட்டவுடன் மின்தேக்கி-C_1 ஆனது R_2-மின்தடை டையோடு D_1 வழியே மின்னூட்டம் பெறும். இப்போது டிரான்சிஸ்டரானது மின்கடத்து நிலையில் இருக்கும். மின்தேக்கியானது, உச்சிப்புள்ளி (படம் 12.40) மின்னழுத்தத்தைப்பெறும்வரை டிரான்சிஸ்டர் மின்கடத்தா நிலையிலிருக்கும். மின்தேக்கியானது இந்த மின்னழுத்தத்தைப் பெற்றவுடனேயே டிரான்சிஸ்டரானது திடீரென்று மின்னோட்டத்தை ஓடவிடும். உடனடியாக உமிழ்வாய் இணைப்பு இருக்கும் புள்ளி நிலை மின்னழுத்தத்திற்கு (Ground Potential) வந்துவிடும். இதனால் டையோடு D_1 திருப்பிய பயாசைப் பெற்றுக் கடத்தாநிலைக்குச் சென்றுவிடும். டையோடு D_1 கடத்தாநிலையிலிருக்கும்போது A, B-புள்ளிகள் தொடர்பற்று இருக்கும். R_2 மின்தடை தேவையான அளவு மின்னோட்டத்தை



படம் 12·39
ஒற்றைச்சந்தி டிரான்சிஸ்டரைப்பயன்படுத்தி இரம்பப்பல் அலையைத் தோற்றுவித்தல்

ஓடவிட்டுக்கொண்டிருப்பதால் டிரான்சிஸ்டரானது தொடர்ந்து செயற்பட்டுக் கொண்டிருக்கும். இதே நேரத்தில் மின்தேக்கி-C, மின்தடை-R_1 வழியே மின்னூட்டத்தை இறக்கிக்கொண்டிருக்கும். இந்த மின்னிறக்கம் டையோடின் இரு புறங்களிலும் மின்னழுத்தம் சமமாகும்வரை நீடிக்கும். இந்நிலையை அடைந்தவுடன் டையோடு D_1 மின்கடத்தலைத் தொடங்கும். இது தொடங்கியவுடன் மின்னோட்டமானது டிரான்சிஸ்டரைவிட்டு மின்தேக்கிக்கு ஓடிவிடும். உடனே டிரான்சிஸ்டர் மீண்டும் மின்கடத்தா நிலைக்குத் திரும்பிவிடும். மீண்டும் C-ன் மின்னழுத்தத்தால் செயற்பட உந்தப்படும்வரை டிரான்சிஸ்டர் இந்த நிலையிலேயே இருக்கும்.

ஒற்றைச்சந்தி டிரான்சிஸ்டர் இன்னும் பல கருவிகளில் பயன் படுத்தப்படுகின்றன, துடிப்பு இயற்றிகளாக (Pulse generator), அதிர்வெண் பகுப்பான்களாக, கட்டப்பகுப்பானாக (Phase detectors), ஒருநிலை பல் அதிர்வியாக இந்த டிரான்சிஸ்டர் பயன்பட முடியும். எல்லாவற்றிலும் இதன் அடிப்படைச் செயல் முறையானது இங்கு விவரிக்கப்பட்டது போலவே இருக்கும்.



படம் 12.40

ஒற்றைச் சந்தியைப் பயன்படுத்தியுள்ள பல் அதிர்விச் சுற்று

வினாக்கள்

1. குறைகடத்தியைப் பயன்படுத்திச் செய்யப்படும் பல்வேறு கருவிகள் யாவை? இவற்றைத் தயாரிக்கப்பயன்படும் சில பொருள்களைக் கூறு.

2. வெப்பத்தடை மின்கலம் ஒன்றின் அமைப்பை விளக்கி அது செயற்படும் முறையை எடுத்துக்கூறு.

3. மாறு மின் தடை என்றால் என்ன? அது எவ்வாறு செயற் படுகிறது? அதன் மிக முக்கியமான பயன்கள் சிலவற்றைக் கூறு.

4. ஒளி டயோடு ஒன்றின் அமைப்பை விளக்கி, அது செயற்படும் முறையை விளக்கு.

5. ஒளி டிரான்சிஸ்டர் ஒன்றின் உள்ளமைப்பை விளக்கி எழுது. இதில்தோன்றும் மின்னோட்டத்திற்கு ஒரு வாய்பாடு காண்க. இவற்றின் பயன்கள் சிலவற்றைக் கூறு.

6. ஒரு டிரான்சிஸ்டர் அமைப்பில் நான்கு அடுக்கு அமைப்பு என்பது யாது? அதன் பயன் என்ன? அதன் செயல்முறையை விளக்கு.

7. கட்டுப்படுத்தப்பட்ட அலைதிருத்தியாக ஒரு நான்கடுக்கு டயோடு எவ்வாறு செயல்படுகிறது என்பதை விளக்கமாகப் படத்துடன் விவரி. இதன் சிறப்பியல்பு வரைகோட்டை வரைந்து காட்டு

8. ஒரு தாமிர ஆக்சைடு அலைதிருத்திகள் எவ்வாறு அமைக்கப் படுகின்றன? அவற்றின் செயல்முறையை விளக்கு.

9. செலீனியம் அலைதிருத்திகள் எவ்வாறு அமைக்கப்படுகின்றன? மற்ற அலைதிருத்திகளைக்காட்டிலும் இவற்றின் மேம்பாடுகள் யாவை? இவற்றின் முக்கியப் பயன்கள் சிலவற்றைக் கூறு.

10. ஜெர்மேனியம் அலைதிருத்தி ஒன்றின் அமைப்பையும், செயல் முறையையும் விளக்கு. இவற்றின் மேம்பாடுகள், குறைபாடுகள் யாவை?

11 சிலிக்கான் அலைதிருத்திகள் எவ்வாறு செயற்படுகின்றன. இதன் பயன்கள் சிலவற்றைக் கூறு.

12. ஓர் அலைதிருத்தி மாறுதிசை மின்னோட்டத்தை எவ்வாறு திருத்தி, நிவர்த்திசெய்யும் மின்னோட்டமாக்குகிறது என் பதைப் படம் போட்டு விளக்கு.

13. மாறு மின் தேக்கு திறனுடைய டயோடு ஒன்றின் பயனையும், செயல்முறையையும் விளக்கி எழுது.

14. ஜீனர் டயோடு என்றால் என்ன? அது எவ்வாறு செயற் படுகிறது? அதில் சீர்குலைவு எப்பொழுது தோன்றும்?

15. ஓர் ஒற்றைச்சந்தி டிரான்சிஸ்டரின் அமைப்பை விளக்கி எழுது. இது எவ்வாறு செயற்படுகிறது. என்பதை இதன் சிறப்பியல்புக் கோட்டைக்கொண்டு விளக்குக. இதன் முக்கியமான பயன்கள் சிலவற்றைக் கூறு.

76. கீழ்க்கண்டவற்றைப் பற்றிச் சிறுகுறிப்பு வரைக:

(a) ஹால் மின்னியற்றிகள்

(b) காந்தத்தடை

(c) டெட்ரோடு டிரான்சிஸ்டர்கள்

(d) வெப்ப மின்விளைவைக் கொண்டு குளிர்வித்தல்

13. குறைகடத்திச் சிறப்புக் கருவிகள்

டன்னல் டையோடு

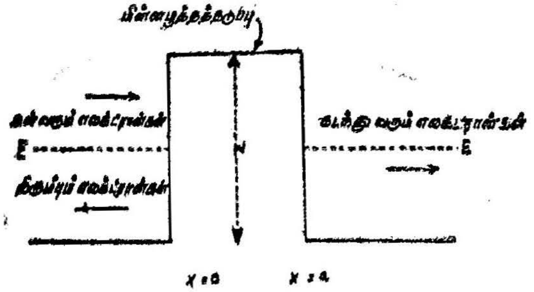
டன்னல் டையோடு (Tunnel diode)

குறைகடத்திக் கருவிகளிலேயே டன்னல் டையோடு மிக முக்கியத்துவம் வாய்ந்த ஒரு கருவியாகும். இது 1958ஆம் ஆண்டு ஜப்பானிய அறிவியல் மேதை 'லியோ இசாக்கி' (Leo Esaki) என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இது ஒரு வழக்கமான *p-n* சந்தியேயாகும். ஆனல் *p*-பகுதி *n*-பகுதி ஆகிய இரண்டுமே வீருர்ந்த கலப்புடையவை. அதாவது மிகுந்த ஏற்பி அணுத் தூசும், கொடை அணுத்தூசும் கலக்கப்பட்டவை. *p* பகுதி, *n*-பகுதி ஆகியவைகளுக்கிடையேயுள்ள நெருக்கமிழந்த அடுக்கு அல்லது கடக்கும் பகுதியின் அகலம் மிகமிக மெல்லியதாக, ஏறத்தாழ ஒரு மைக்ரோ செ.மீ. அளவில் அமைக்கப்பட்டிருக்கும். இந்த *p-n* சந்தியின் மின்னழுத்த மின்னேட்டச் சிறப்பியல்பு வளைகோட்டின் வடிவம் வழக்கமான *p-n* சந்தியின் சிறப்பியல்பு வளைகோட்டின் வடிவத்திலிருந்து மிகவும் மாறுபட்டிருக்கும். டன்னல் டயோடுகள் மாறுதிசை மின்னழுத்தத்தை ஒரு திசை மின்னழுத்தமாக மாற்றும் அலைதிருத்தியாகச் செயற்படா. அத்தோடு இவை எதிர் மின்தடைக் குணங்களைக் கொண்டிருக்கும். அதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட முன்னேக்கிய மின்னழுத்தத்தில் முன்னேக்கிய மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கும்போது மின்னூட்டம் குறையும். இது ஒரு டயோடாக இருந்தாலும் ஒரு பெருக்கியாகவோ, அல்லது அலை இயற்றியாகவோ அல்லது ஒரு ஸ்விட்சாகவோ இது செயற்படக்கூடியது. இதன் செயல்முறை அதிர்வெண் ஏறத்தாழ 10 கிலோ மெகா ஹெர்சுகள் ஆகும். இது ஒரு ஸ்விட்சாக 10^{-9} விநாடிக்கும் குறைவான நேரத்தில் செயற்படக்கூடிய தன்மை உடையது. இந்த டன்னல் டயோடின் மிக முக்கியமான மேம்பாடுகள் அதன் சிறிய உருவம், அது செயற்படத் தேவையான மிகச் சிறிய ஆற்றல் அல்லது திறன், மிக நீண்ட வெப்பநிலை நெடுக்கத்தில் செயற்படக்கூடிய தன்மை ஆகியவையாகும். அதேநேரத்தில் இதில் சில குறைபாடுகளும் உண்டு. இதில்

இரண்டே இரண்டு இணைப்பு வாய்கள்தாம் இருக்கும். எனவே உள்ளீட்டுச் சுற்றையும், வெளியீட்டுச் சுற்றையும் பிரித்தறிவது எளிதாக இருக்காது. அத்தோடு இதில் தோன்றும் தேவையற்ற அலைவுகளைத் தவிர்க்கவேண்டும். இத்தகைய டன்னல் டயோடுகள் ஜெர்மேனியத்திலிருந்தோ, அல்லது சிலிக்கானிலிருந்தோ தயாரிக்கப்படுகின்றன. கேலியம் ஆர்சினைடு, இண்டியம் ஆன்டிமொனைடு போன்ற கூட்டுப்பொருள்களிலிருந்தும் டன்னல் டயோடுகள் தயாரிக்கப்படுகின்றன. டன்னல் விளைவுகளைப்பற்றிச் சிறிது விரிவாகக் கீழே கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது.

டன்னல் விளைவுகள்

படம் 13.1-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் ஒரு மின்னழுத்தத் தடுப்பை எடுத்துக்கொள்வோம். இதன் அளவு W என்று கொள்ளலாம்.

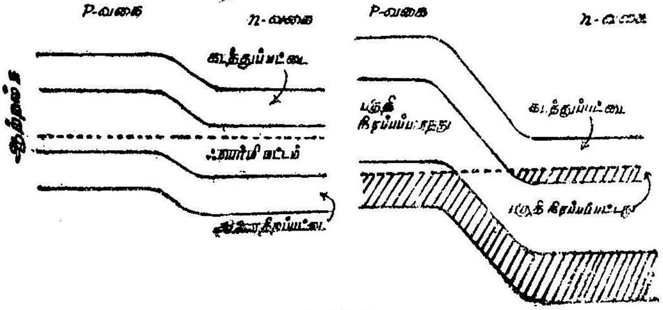


படம் 13.1
மின்னழுத்தத்தடுப்பு

இதன் இடப்புறத்தில் ஒரு துகள் உள்ளது. இந்தத் துகளின் ஆற்றல் E என்று கொள்வோம். துகளின் ஆற்றல் E, Wஐவிடக் குறைவாகயிருந்தால் பழமை இயற்பியலின்படி இந்தத் துகள் மின்னழுத்தத் தடுப்பைத்தாண்டி வலப்புறத்திற்குச் செல்ல முடியாது.

துகளின் ஆற்றல் E மின்னழுத்தத் தடுப்பு Wஐவிடக் குறைவாக யிருந்தாலும் அந்தத் துகள் தடுப்பைத் துளைத்துக்கொண்டு உட்புகுந்து அடுத்த பக்கத்தில் வெளிவந்துவிடும் தன்மை உடையதாக இருக்கலாம். இவ்வாறு துளைத்து உட்புகும் தன்மையை அடிப்படையாகக் கொண்டுதான் பல அணுக்கருச் செயல்கள் விளக்கப்படுகின்றன. எலக்ட்ரான் போன்ற ஓர் அணுத் துகள் குறைந்த ஆற்றல் Eஐப் பெற்றிருந்தாலும் அதைவிட உயர்ந்த மின்னழுத்தத் தடுப்பு Wஐத் துளைத்து உட்புகுந்து

அடுத்த பக்கத்தில் வெளிவர ஒரு சிறிய, ஆனல் நிச்சயமான வாய்ப்பு உண்டென்று குவான்டம் இயக்கவியல் அடைப்படையில் காட்டலாம். உட்புகும் நுகளின் ஆற்றலானது உட்புகுந்து அடுத்த பக்கத்தில் வெளிவந்த பிறகும், ஆற்றல் மாருமல் புகுவ தற்குமுன்பு அது பெற்றிருந்த ஆற்றலேயே பெற்றிருக்கும். மின்னழுத்தத்தடுப்பு வழியே துளைத்துச்செல்லும் நிகழ் வாய்ப்பு தடுப்பின் அகலத்தையும், தடுப்பின் உயரத்தையும் சார்ந்து அமையும். உயர் மின்னழுத்தத் தடுப்புகளை இவ்வாறு அணுத்து கள் துளைத்துச்செல்லும் செயலுக்குத்தாம் டன்னல் விளைவு என்று பெயர்.

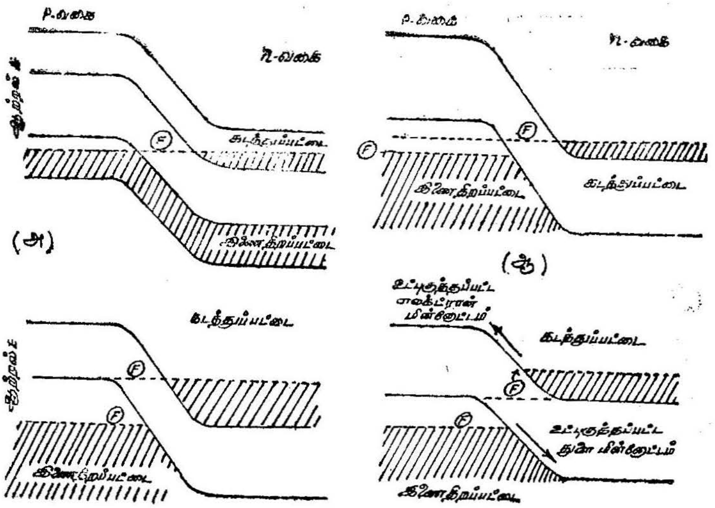


படம் 13.2
P-N சந்தியின் ஆற்றல் பட்டைப்படம்

படம் 13.2-ல் ஒரு வழக்கமான *p-n* சந்தியின் ஆற்றல் பட்டைப் படமும், ஒரு டன்னல் டயோடின் ஆற்றல் பட்டைப் படமும் அடுத்தடுத்துக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. டன்னல் டயோடின் *n*-வகைப் பகுதியில் கொடை அணுக்களின் செறிவு 1 க. செ. மீட்டருக்கு 10^{19}-க்குமேல் இருக்கும். எனவே, அறை வெப்பநிலையில் இப்பகுதியில் மின்கடத்தும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை பலமடங்கு மிகுந்திருக்கும். இதனல் ஃபெர்மி (ஆற்றல்) மட்டமானது ஆற்றல் இடைவெளியின் நடுப்பகுதியி லிருந்து பெருமளவு இடம்பெயர்ந்து மேலேசென்றுவிடும். உண்மையில் ஃபெர்மி மட்டம் கடத்துப்பட்டையின் உள்ளேயே, அமைந்துவிடும். அளவுக்கு உயர்ந்துவிடும். இதேபோன்று *p*-பகுதியில் ஏற்பி அணுக்களின் செறிவு பன்மடங்கு மிகுதியா யிருக்க, இணைதிறப் பட்டையில் உள்ள துளைகளின் எண்ணிக்கை மிகமிக அதிகமாயிருக்கும். இதனல் *p*-பகுதியில் ஃபெர்மி மட்ட மானது இணைதிறப் பட்டையின் உள்ளேயே அமைந்துவிடக் காணலாம். *n*-வகை, *p*-வகை ஆகிய இரண்டுமே ஒரே வெப்ப நிலையிலிருக்கும்போது டன்னல் டயோடுக்கு எந்தவித பயாசும்

கொடுக்கப்படாமல் இருந்தால் அதன் ஃபெர்மி மட்டம் படத்தில் காட்டியுள்ளது போல் இருக்கும். எனவே, *n*-வகையின் கடத்தப் பட்டையும், *p*-வகையின் இணைதிறப் பட்டையும் ஒரு சிறிது மேற் பொருந்தி இருக்கக்காணலாம். இவ்வாறு ஆற்றல் பட்டைகள் சிறிது ஒன்றின்மேல் ஒன்று மேற்பொருந்தி இருப்பதால்தான் டன்னல் டயோடில் துளைத்துச்செல்லும் டன்னல் விளைவு ஏற் படுகிறது.

இந்த *p*- பகுதியிலுள்ள இணைதிறப் பட்டையையும், *n*- பகுதி யிலுள்ள கடத்துப் பட்டையையும் பிரிக்கும் மின்னழுத்தத் தடுப்பைத் துளைத்து உட்புகுந்து செல்ல எலக்ட்ரான்களுக்கு ஒரு சிறிய ஆனால் நிச்சயமான நிகழ்வாய்ப்பு உண்டு. ஆனால் இதற்கு நெருக்கமிழந்த அடுக்கின் அகலம் மிகமிகக் குறைவாக இருக்க வேண்டும். இவ்வாறு துளைத்துச்செல்லும் எலக்ட்ரான்களின் ஓட்டமானது,



படம் 13·3
டன்னல் டயோடில் ஆற்றல் பட்டைகள்

1. எலக்ட்ரான்கள் எந்தப்பக்கமிருந்து துளைத்துச் செல்லு கின்றதோ அந்தப்பக்கத்தில் எலக்ட்ரான் அமர்ந்திருக்க உள்ள வாய்ப்பு.

2. எந்தப் பக்கத்திற்குத் துளைத்துச் சென்றபின் எலக்ட்ரான்கள் வந்து சேருகின்றனவோ அந்தப் பக்கத்தில் எலக்ட்ரான்கள் இல்லாதிருக்க வாய்ப்பு.

3. எலக்ட்ரான்கள் கடந்து செல்வதற்கான வாய்ப்பு ஆகியவற்றைப் பொருத்துதாம் அமைகின்றன.

படம் 13.3(அ)-ல் ஒரு டன்னல் டயோடு பயாசு கொடுக்கப்படாமலிருக்கும்போது உள்ள ஆற்றல் மட்டங்களைக் காண்பிக்கிறது. இதில் இரண்டு திசைகளிலும் சம எண்ணிக்கையுள்ள எலக்ட்ரான்கள் எதிரெதிரே துளைத்துச் சென்றுகொண்டிருக்கும். இந்த எதிர்எதிர் எலக்ட்ரான் ஓட்டமானது ஒன்றையொன்று சரி செய்து விடுவதால் மொத்த ஓட்டம் சுழியாக இருக்கும். டன்னல் டயோடு ஓர் ஆற்றலைத் தோற்றுவிக்கும் கருவியன்று. இதனால் இவ்வாறு சரிசெய்யப்படுவதை நாம் எதிர்பார்க்கலாம்.

முன்னோக்கிய திசையில் ஒரு வோல்ட்டுக்கும் குறைவான அளவு பயாசு கொடுக்கப்பட்டால் n-பகுதியிலிருந்து p-பகுதி நோக்கி எலக்ட்ரான்கள் துளைத்துச்செல்ல முற்படும். n-வகைப் பக்கத்திலுள்ள கடத்துப்பட்டையின் அடிப்பகுதியில் பல நிரப்பப்பட்ட நிலைகள் இருக்கும். p-வகைப் பக்கத்தில் இணைதிறப் பட்டையிலுள்ள நிரப்பப்படாத நிலைகளும் அதே அளவுக்குச் சரி சமமாக இருக்கும். எனவே n-பகுதியிலிருந்து p-பகுதிக்கு ஏராளமான எலக்ட்ரான்கள் துளைத்துச்செல்லும். ஆனால் எதிர்த் திசையில் துளைத்துச்செல்லும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மிகக் குறைவாகவே இருக்கும்.

முன்நோக்கிய திசையில் பயாசு மின்னழுத்தம் உயர உயர இந்த எலக்ட்ரான் ஓட்டமும் உயர்ந்துகொண்டே போகும். n-பகுதியிலிருக்கும் கடத்துப்பட்டையும், p-பகுதியிலிருக்கும் இணைதிறப் பட்டையும் பெரும் அளவுக்கு ஒன்றோடொன்று மேற்பொருந்தும்வரை இந்த எலக்ட்ரான் ஓட்டம் இருக்கும். இந்த நிலையில் n-வகைப் பக்கத்திலுள்ள ஃபெர்மி மட்டம், p-வகைப் பக்கத்திலுள்ள இணைதிறப் பட்டையின் மேல் ஓரத்திற்குச் சரியாக இருக்கும். p-வகைப் பக்கத்திலுள்ள ஃபெர்மி மட்டம், n-வகைப் பக்கத்திலுள்ள கடத்துப்பட்டையின் கீழ் ஓரத்திற்குச் சரியாக அமையும். படம் 13.3(இ)-ல் மேற்பொருந்தல் பெருமமாயிருக்கும் நிலை காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இந்நிலையில்தான் துளைத்துச் செல்லும் மின்னோட்டம் பெருமதிப்பாயிருக்கும்.

முன்னோக்கிய பயாசு மின்னழுத்தம் மேலும் உயர்த்தப் பட்டால் n-வகைப் பக்கத்திலிருக்கும் கடத்துப்பட்டையிலுள்ள சில எலக்ட்ரான்கள், p-பகுதியின் தடுக்கப்பட்ட ஆற்றல் பட்டைக்குச் சரியான ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கும். இந்நிலையில் மேற்பொருந்தல் சிறிது குறைக்கப்படுகிறது. இதன் விளைவாக துளைத்துச்செல்லும் மின்னோட்டம் சிறிது குறையும். ஏனெனில் n-பகுதியின் கடத்துப் பட்டையில் ஃபெர்மி மட்டத்திற்குச் சிறிது கீழேயுள்ள நிரப்பப்பட்ட ஆற்றல் நிலைகளில் சில, p-பகுதியின் இணைதிறப் பட்டைக்குச் சற்று மேலே இருக்கும். p-வகைப் பகுதியில் அவற்றை எடுத்துக் கொள்வதற்கு ஆற்றல் மட்டங்கள் இல்லையாதலால் n-பகுதியிலிருந்து எலக்ட்ரான் இப்போது துளைத்துச் செல்லாது.

மேலும் முன்னோக்கிய பயாசு மின்னழுத்தம் உயர்த்தப்பட்டால் பயன்படக்கூடிய மேற்பொருந்தலை (useful overlapping) இது குறைக்கும். இதனால் முன்னோக்கிய திசையில் துளைத்துச் செல்லும் மின்னோட்டம் குறைந்துவிடும். இவ்வாறாக முன்னோக்கிய பயாசு மின்னழுத்தம் உயர உயர துளைத்துச்செல்லும் மின்னோட்டம் குறைந்துகொண்டே செல்லும்.

இறுதியாக n-பகுதியின் கடத்துப் பட்டையின் கீழ் ஓரமும் p-பகுதியின் இணைதிறப் பட்டையின் மேல் ஓரமும் ஒரே மின்னழுத்தத்திற்கு வரும்போது ஆற்றல் மட்டங்களின் மேற்பொருந்தலே இருக்காது. இதனால் துளைத்துச் செல்லும் மின்னோட்டம் சுழியாகிவிடும். இது படம் 13.3(ஈ)-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

முன்னோக்கிய பயாசு இன்னும் உயர்த்தப்பட்டால் துளைத்துச்செல்லும் மின்னோட்டம் சுழியாக, வழக்கமான p-n சந்தியில் ஓடும் உட்புகு ஊர்தி மின்னோட்டம் ஓடத்தொடங்கும். இது p-வகைப் பகுதியிலிருந்து n-வகைப் பகுதிக்கு உட்புகுத்தப் படும் எலக்ட்ரான்களினாலும் தோன்றும் மின்னோட்டமாகும்.

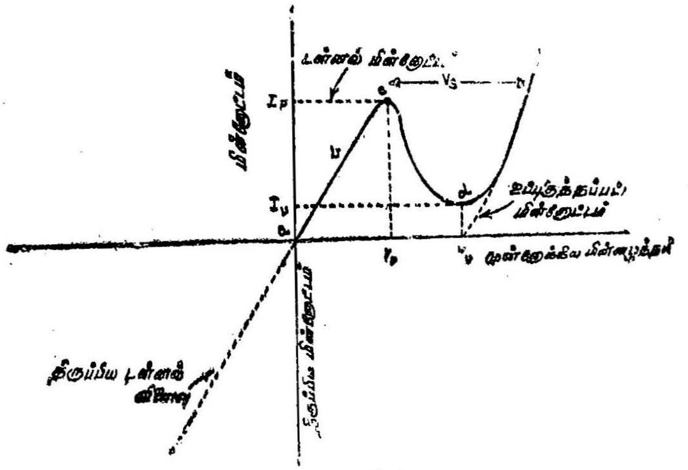
டன்னல் டயோடின் சிறப்பியல்புகள்

ஒரு டன்னல் டயோடின் மின்னழுத்த—மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பு வளைகோடு படம் 13.4-ல் இருப்பதுபோல் இருக்கும்.

இந்த வளைகோட்டில் $a, b, c, d,$ புள்ளிகள் முன்பு விவரிக்கப்பட்ட நான்கு நிலைகளுக்குச் சரியானவை. இதில் I_p என்பது டன்னல் விளைவின் உச்சி மின்னோட்டமாகும். இதற்கு நேரான

மின்னழுத்தம் V_p ஆகும். I_{vi} V_v இரண்டும் குறைமதிப்பு மின்னோட்டம், மின்னழுத்தமாகும். இந்த உச்ச மின்னழுத்தமும் (V_p), குறை மின்னழுத்தமும் (V_v) டன்னல் டயோடைத் தயாரிப்பதற்குப் பயன்படுத்தப்படும் பொருளைப்பொறுத்து அமையும். சந்திப் பரப்பில் கலக்கப்படும் தூசு அணுக்களின் அளவைப் பொறுத்து இந்த உச்ச மின்னோட்டமும், குறை மின்னோட்டமும் அமையும். உச்ச மின்னோட்டத்திற்கும், குறை மின்னோட்டத்திற்குமுள்ள தகவு 30:1 ஆக இருக்கும். டன்னல் டயோடிலுள்ள மின்னோட்டத்திற்கும், மின்னழுத்தத்திற்குமுள்ள தொடர்பு,

$$I = \frac{V - \gamma V^3}{r} \qquad \dots 13.1$$



படம் 13.4
மின்னோட்ட மின்னழுத்தச் சிறப்பியல்பு

r-என்பது மின்தடையையும், γ-என்பது வகு எண் குணகத்தையும் குறிக்கும்.

ஒரு டன்னல் டயோடின் முக்கியமான சிறப்பியல்பு என்னவெனில், மின்னழுத்த மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பு வெப்பநிலை ஏற்றத்தாழ்வுடன் மாறுபாடு அடையாது இருப்பதே யாகும். எடுத்துக்காட்டாகத் திரவ ஹீலியம் வெப்பநிலையிலிருந்து 300°C வரை ஒரு டன்னல் டயோடு பயனுள்ள முறையில் செயற்படமுடியும். ஜெர்மேனியம், சிலிக்கான், கேலியம், ஆர்சினேடு, கேலியம் ஆன்டிமொனேடு போன்ற குறைகடத்திகளைப்

பயன்படுத்தி டன்னல் டயோடுகள் தயாரிக்கப்படுகின்றன. கீழேயுள்ள அட்டவணை இத்தகைய சில டன்னல் டயோடுகளையும் அவற்றின் சில குணங்களையும் காண்பிக்கின்றன.

அட்டவணை

பொருள்	உச்ச, குறை மதிப்பு மின்னோட்டத் தகவு	கடத்துப்பட்டை, இணைதிறப்பட்டை இடையேயுள்ள ஆற்றல் இடைவெளி
1. ஜெர்மேனியம்.	10-லிருந்து 30 வரை	0.72 எலக்ட்ரான் வோல்ட்
2. சிலிக்கான்.	3-லிருந்து 5 வரை	1.12 எலக்ட்ரான் வோல்ட்
3. கேலியம் ஆர்சினேடு.	30-லிருந்து 60 வரை	1.40 எலக்ட்ரான் வோல்ட்

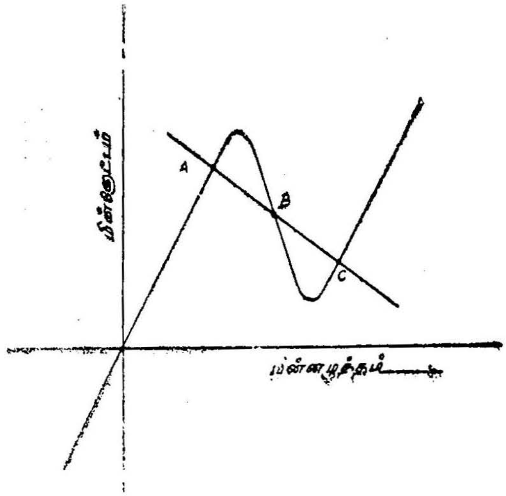
படத்திலுள்ள வளைகோட்டில் C-யிலிருந்து *d*-க்கு மாறும் பகுதியில் டன்னல் டயோடு மின்னோட்டமானது (முன்னோக்கிய பயாசு மின்னழுத்தம் உயரும்போது) குறைவதைக் காணலாம். எனவே, ஓர் எதிர் மின்தடைக் குணத்தைக் காண்பிக்கிறது. இந்த எதிர்மின் திசையில் $\frac{V_t - V_v}{I}$ என்ற சமன்பாட்டைக் கொண்டு கணக்கிடலாம். இதன் மதிப்பு ஏறத்தாழ 5கிலோ ஓம் இருக்கும்.

டன்னல் டயோடானது இரண்டு முக்கியக் கருவிகளாகப் பயன்படுகிறது.

1. விரைந்து செயற்படும் ஸ்விட்சாக
2. மின் பெருக்கியாகவும், அலை இயற்றியாகவும்.

இது ஸ்விட்சாகச் செயற்படும் முறை அடுத்துள்ள சிறப்பியல்பு வளைகோட்டிலிருந்து தெரிந்துகொள்ளலாம். இதில் ஒரு *D.C* பளுக்கோடு (**load line**) வரையப்பட்டிருக்கிறது. இந்த பளுக்கோட்டுச் சிறப்பியல்பு வளைகோட்டை *A*, *B*, *C*, என்ற மூன்று புள்ளிகளில் வெட்டுகின்றன. *A*-புள்ளியும் *C*-புள்ளியும் வளைகோட்டின் நேர்மின்தடைப் பகுதியிலுள்ளன (இப் புள்ளிகளில் சரிவு நேரானதாக இருக்கும்). *C*-புள்ளி எதிர் மின்தடைப்

பகுதியிலுள்ளது (இப்புள்ளியில் சரிவு எதிர்க்குறி கொண்டிருக்கும்). சரிவு நேராக உள்ள புள்ளிகளில் இயக்கம் நிலைத்தன்மை உடையதாயிருக்கும். எனவே, இந்த இரண்டு புள்ளிகளில் ஒன்றில் (*A*-அல்லது *C*) கருவி செயற்படும்படி செய்யப்படுகிறது. இது செயற்புள்ளி (Operatiog Point) எனப்படும். பொருத்தமான முடுக்கும், துடிப்புகளைக் கொடுத்துத் திடீரென்று செயற்புள்ளியை ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றிற்கு மாற்றிவிடலாம். இவ்வாறு மாற்றப்படுவது மிக விரைவாக நடைபெறமுடியும். ஏனெனில் ஒரு டன்னல் டயோடில் ஓடும் மின்னோட்டமானது டன்னல் விளைவால் ஏற்படுவதால் இது மிக விரைவாகச் செயற்படும். இது செயற்பட எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் 10^{-9} விநாடிக்கும் குறைவாகவே யிருக்கும்.



படம் 13.5
டன்னல் டயோடு சிறப்பியல்பு வளைகோட்டின் பளுக்கோடு

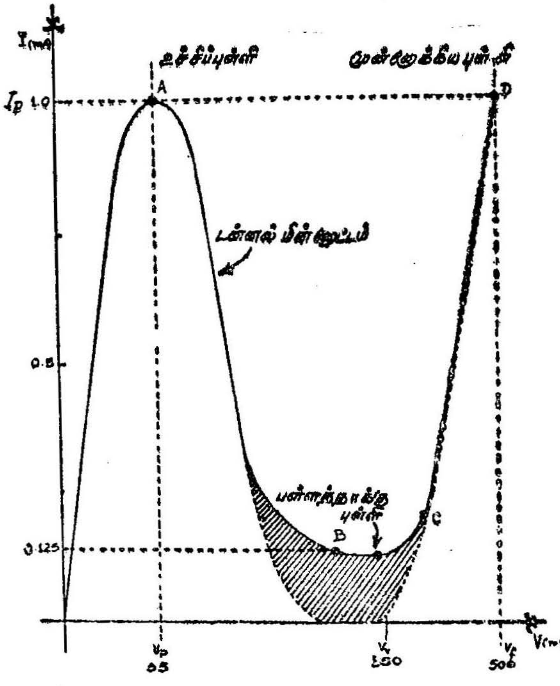
ஒரு *L-C* ஒத்திசைவுச் சுற்று ஓர் எதிர் மின்தடையுடன் இணையாக இணைக்கப்பட்டால் ஒத்திசைவுச் சுற்றில் சீரான அலைவுகள் தோன்றும். இந்த அலைவுகள் தோன்ற *L*,*C* இவற்றின் மதிப்புகளைப் பொருத்தமாகத் தேர்ந்தெடுக்கவேண்டும். இந்த அலை இயற்றிச் சுற்றில் எதிர் மின்தடையாக ஒரு டன்னல் டயோடு பயன்படுத்தப்படலாம்.

படம் 13.6 ஒரு டன்னல் டயோடின் மின்னழுத்த மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பு வளைகோட்டைக் காண்பிக்கிறது.

அதில் பல்வேறு D-C பராமீட்டர்கள் (அளபுருக்கள்) காண்பிக்கப் பட்டுள்ளன. இது ஒரு ஜெர்மேனியம் டன்னல் டயோடுக்கான பராமீட்டர் மதிப்புகள் ஆகும்.

D-C பராமீட்டர்கள்

இந்த D-C பராமீட்டர்கள் பற்றிச் சிறிது விளக்கமாகப் பார்ப்போம். i_p என்பது உச்சி மின்னோட்டம். இது குறைகடத்திப் பொருளில் உள்ள கலப்புத் தூசு அணுக்களின் அளவையும், சந்தியின் பரப்பையும் பொறுத்து அமையும். இதன் மதிப்பு



படம் 13.6
டன்னல் டயோடின் சிறப்பியல்பு வளைகோடு

1மில்லி ஆம்பியரிலிருந்து 100 மில்லி ஆம்பியர் வரை இருக்கும். ஸ்விட்சு சுற்றுகளில் i_p-ன் மதிப்பு கருவிக்குக் கருவி மாறலாம். எந்த மின்னழுத்தத்தில் மின்னோட்டம் உச்சி மதிப்பை அடைகிறதோ அந்த மின்னழுத்தம் U_p என்று குறிக்கப்படுகிறது. அது ஜெர்மேனியம் டயோடுகளில் 60 மில்லி வோல்ட்டிலிருந்து 120 மில்லி வோல்ட் வரை இருக்கும். I_u என்பது மிகக் குறைந்த

மின்னேட்டம். இதைத் தாழ் மின்னேட்டம் அல்லது பள்ளத் தாக்கு மின்னேட்டம் (Valley Current) என்று கூறலாம். இது முடிந்தவரை குறைந்திருக்க வேண்டும். I_u யானது I_pஐ விட மிகக் குறைவாக இருக்கவேண்டும். (I_p-I_u) வேறுபாடு கருவியின் 'மின்னேட்டவீச்சு' (current swing) எனப்படுகிறது. இது ஒரு கருவிக்கு எவ்வளவுக்கு எவ்வளவு மிகுதியாக இருக்கிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு கருவி திறமையாகச் செயற்படும்.

V_v என்பது தாழ் மின்னேட்டம் தோன்றும் மின்னழுத்த மாகும். ஜெர்மேனியம் டயோடுக்கு இது 250 மில்லி வோல்ட்டி லிருந்து 350 மில்லி வோல்ட் வரை இருக்கும். V_v என்ற புள்ளியில்தான் கருவியின் எதிர் மின்தடை நேர்மின்தடையாக மாறுகிறது. V_f என்பது முன்னேக்கிய மின்னழுத்தம் எனப் படுகிறது. இது i_p மின்னேட்டத்திற்குச் சரியான மின்னழுத்த மாகும். இந்த V_f 300 மில்லி வோல்ட்டிலிருந்து 500 மில்லி வோல்ட் வரை இருக்கும். V_fக்கும், V_vக்கு மிடையே உள்ள வேறுபாடு டன்னல் டயோடின் 'மின்னழுத்த வீச்சு' (Voltage swing) எனப்படும். இந்த வீச்சு மிகுதியாக இருக்கவேண்டு மானல் சிலிக்கான் டயோடோ அல்லது கேலியம் ஆர்சினைடு டயோடோ பயன்படுத்தப்படலாம். இவை யாவும் ஒரு டன்னல் டயோடின் D-C பராமீட்டர்கள் ஆகும்.

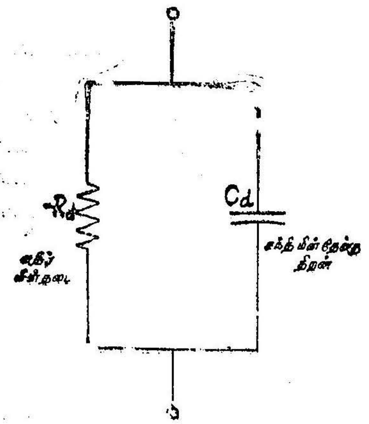
A-C பராமீட்டர்கள்

ஒரு டன்னல் டயோடின் a-c இணைமாற்றுச் சுற்றுகளை (equivalent ci cuit) அமைக்க இந்தக் கருவியின் எந்தெந்தப் பண்பு கள் அதன் a-c செயலைத் தீர்மானிக்கும் என்பதனை அறிய வேண்டும்.

முதலாவதாக இந்த டன்னல் டயோடு ஓர் எதிர்மின் தடையைக் காண்பிக்கிறது. இந்த எதிர்மின் தடையானது மின்னழுத்த மின்னேட்டச் சிறப்பியல்பு வளைகோட்டின் சாய் வினல் குறிக்கப்படும். இதன் மதிப்பு ஏறத்தாழ—175 ஓம்கள் இருக்கும். இந்த எதிர்மின்தடை சராசரியாக இந்த அளவி லிருந்தால்தான் கருவி திறம்படச் செயற்படும். இந்த எதிர்மின் தடையானது மிகக் குறைவாகயிருந்தால் டன்னல் டயோடைக் குறைந்த மின்மறுப்புள்ள (Low Impendence) சுற்றுகளில் பயன் படுத்த முடியாது. இந்த எதிர்மின் தடையானது மிக அதிகமா யிருந்தாலும் a-c சுற்று நிலைத்தன்மையுடையதாக இருக்காது. அது அலையியற்றியாகச் செயற்படத் தொடங்கிவிடும். இந்த எதிர் மின் தடையானது அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்து அமைவதில்லை.

வழக்கமான *p-n* சந்தி டயோடில் உள்ளது போலவே இந்த டன்னல் டயோடும் ஒரு தடுப்பு மின்தேக்குதிறனை (barrier capacitance) பெற்றிருக்கும். இந்த மின்தேக்கு திறனனது ஒரு டிரான்சிஸ்டரிலுள்ள ஏற்புவாய்ச் சந்தி மின்தேக்கு திறனுக்கு ஒப்பானது. இதன் மதிப்பு சில மைக்ரோ மைக்ரோ ஃபாரட் களிலிருந்து சில நூறு ஃபாரட்கள் வரை யிருக்கும். இந்த மின் தேக்குதிறன் டயோடின் பரப்பைப் பொறுத்து அமைகிறது. இந்தச் சந்தி மின்தேக்குதிறன் படம் 13.7-ல் எதிர்மின் தடைக்கு இணையாக இணைக்கப்பட்டிருப்பதைக் காணலாம்.

மேலே சொல்லப்பட்ட இரண்டு பராமீட்டர்களைத்தவிர மேலும் இரண்டு பராமீட்டர்கள் டன்னல் டயோடுக்கு உள்ளன.



படம் 13.7
டன்னல் டயோடின்
இணைமாற்றுச் சுற்று

இவை டன்னல் டயோடுடன் தொடராக அமையும். இவை பரவுதடை இணைப்பு மின் நிலைமம் (Inductance) ஆகும். இந்த மின்தடையானது குறை கடத்திப் பொருளாலும் இணைப்புக் கம்பிகளாலும் தோற்றுவிக்கப்படுவது. இதன் மதிப்பு 0.2 ஓமிலிருந்து 8 ஓம் கள்வரை இருக்கும். மின் நிலை மத்தின் மதிப்பு சில மில்லி மைக்ரோ ஹென்ரிகளாக இருக்கும். இந்த மின்நிலைமம் மிகமிகக் குறைமதிப்பு உடைய தாக இருந்தாலும் இது பரா மட்ரிக் அளவுகளைத் தோற்று விக்கக் கூடியதாகும். இந்த பரவு தடையும், மின்நிலைமமும் முடிந்தவரை மிகமிகக் குறைவாக யிருக்கும்படி பார்த்துக் கொள்ள வேண்டும். படம் 13.8 இதைக் காட்டுகிறது. படத்தில் இவை எல்லாம் இணைமாற்றச் சுற்றுகக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன.

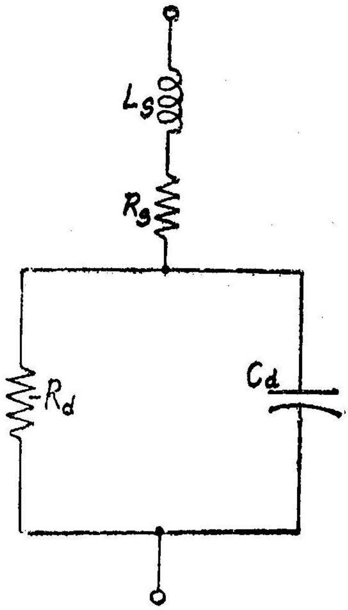
இப்போது நேர்ப் பாங்காகச் செயற்படும் குறைந்த அதிர் வெண்ணில் செயலாற்றும் சுற்றுகளைப்பற்றிப் பார்ப்போம். ஓர் இசைவிக்கப்பட்ட டன்னல் டயோடு பெருக்கியில் அதன் ஆற்றல் மாற்றுப் பெருக்கத்தையும், பட்டை அகலத்தையும் பெருக்கி வந்த பெருக்கல் தொகையின் அளவு ஒரு மிக முக்கியமான அளவீடு ஆகும். இது டிரான்சிஸ்டரில் அதன் மின்னோட்டப்

பெருக்கத்தையும், பட்டை அகலத்தையும் பெருக்கிவந்த பெருக்கல் தொகையான f_T க்கு ஒப்பானதாகும். இது, இந்த டயோடானது எந்த அளவுக்கு அதிர்வெண்களையுடைய மின்னழுத்தங்களைப் பெருக்குகிறது என்பதன் அளவீடு ஆகும்.

ஆற்றல் மாற்றப் பெருக்கத்தையும், பட்டை அகலத்தையும் பெருக்கிவரும் தொகை கீழே காண்பிக்கப்பட்டுள்ளதுபோல் இருக்கும்.

$$\sqrt{G_i} \cdot BW = \frac{1}{2\pi R_d C_d} \quad \ldots 13.2$$

R_d என்பது எதிர்மின்தடை. C_d என்பது சக்தி மின்தேக்குதிறன். BW-பட்டை அகலம். ஆற்றல் பெருக்கத்தின் இருமடி மூலத்தையும், பட்டை அகலத்தையும் பெருக்கிவந்த தொகையானது ஒரு மாறிலியாக இருக்கும். இது டயோடின் பராமீட்டர்களைப் பொறுத்துமட்டுமே அமையும். இதிலிருந்து பட்டை அகலம் குறையக்குறையப் பெருக்கம் G_i உயருகிறது என்பது தெளிவு. குறுகிய பட்டை அகலத்திற்கு மிகுந்த பெருக்கமும், மிகுந்த பட்டை அகலத்திற்குக் குறைந்த பெருககமும்தாம் கிடைக்கும். இப்போதுள்ள டன்னல் டயோடுகளில் 600 மெகா ஹெர்சுகள் பட்டை அகலம் வரை, பெருகத்தைத் தரமுடிகிறது.



படம் 13.8
டன்னல் டயோடின் முழுமையான இணைமாற்றுச் சுற்று

இந்த டன்னல் டயோடின் மற்றொரு முக்கிய பண்பு 'வெட்டு அதிர்வெண்ணாகும்' (cut-off frequency) வெற்றிட வால்வு, டிரான்சிஸ்டர் போன்று அல்லாமல் இந்த டன்னல் டயோடுக்கு இரண்டு வெட்டு அதிர்வெண்கள் உள்ளன. ஒன்று தடைவெட்டு அதிர்வெண்: மற்றது மின் எதிர்ப்புவெட்டு அதிர்வெண் (reactive cut-off-frequency)

தடைவெட்டு அதிர்வெண்,

$$f_{CR} = \frac{1}{2\pi R_d C_d} \sqrt{\frac{R_d}{R_s} - 1} \quad \ldots 13.3$$

இந்த அதிர்வெண்ணில் டன்னல் டயோடுடைய மின்மறுப்பில் தடைப்பகுதி சுழியாகிவிடுகிறது. இந்த அதிர்வெண்களுக்கு மேலே டன்னல் டயோடின் பெருக்கம் I க்கும் கீழாகக் குறைந்து விடும். எனவே, இதை ஒரு பெருக்கியாகப்பயன்படுத்தமுடியாது. மற்றொரு வெட்டு அதிர்வெண்,

$$f_{cx} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_s C_d} - \left(\frac{1}{R_d C_d}\right)^2} \quad \ldots 13.4$$

இதுதான் ஒத்திசைவு அதிர்வெண் என்றும் கூறப்படுகிறது. (Self-resonant frequency). அதாவது இந்த அதிர்வெண்ணில் டன்னல் டயோடு தானே அலையியற்றியாக மாறி அலையைத் தோற்றுவிக்கத் தொடங்கிவிடுகிறது. இந்த அதிர்வெண்ணில் தான் டயோடின் மின்மறுப்பில் மின் எதிர்ப்புப் பகுதி (Reactive-component) சுழியாகி விடுகிறது.

டன்னல் டயோடு உண்மையில் சுற்றுகளில் பயன்படுத்தப் படும்போது இந்த அதிர்வெண்கள் குறைந்துவிடுகின்றன. எனவே, ஒரு டயோடு செயற்படக்கூடிய உச்சவரம்பு அதிர்வெண் பயன்படுத்தப்படும் சுற்றுகளைப் பொறுத்தும், பயன்படுத்தப்படும் பகுதிகளின் மதிப்புகளைப் பொறுத்தும் அமையும். இவற்றில் இணைப்பு நிலைமம் மிக முக்கியமானது. இதை முடிந்தவரை குறைவாகவே வைத்திருக்க வேண்டியது இன்றியமையாதது. ஒரு டன்னல் டயோடை அலை இயற்றியாகப் பயன்படுத்தத் தேவையான பெரும அதிர்வெண் அதன் தடை வெட்டு அதிர் வெண்ணேயாகும். ஏனெனில், இந்த அதிர்வெண்ணில்தான் திறன் பெருக்கம் ஒன்றுக்கும் கீழே குறையத் தொடங்குகிறது.

ஒரு டன்னல் டயோடு ஓர் அலை இயற்றியாகச் செயற்படும் போது அதனுடைய திறன் மற்றொரு முக்கியமான அதன் பண்பு ஆகும். 'A' வகை அலையியற்றியாகச் செயற்படும்போது அதன் திறம்,

$$E = 25\left(1 - \frac{R_s}{R_d}\right)\left[1 - \left(\frac{f}{f_{CR}}\right)^2\right]$$

விழுக்காடு ... 13.5

R_s — டயோடின் தொடர்த்தடை,

f — அலையின் அதிர்வெண்.

f_{CR} — தடைவெட்டு அதிர்வெண்.

R_d-ன் மதிப்பு R_s-ன் மதிப்பைவிட மிகக் குறைவாக இருந்தால் திறம் 25 விழுக்காடாக விழுந்துவிடுவதைக் காணலாம். டிரான்சிஸ்டர்களைப் பயன்படுத்தினால் இதைப்போன்று இருமடங்குதிறம் பெறமுடியும்.

டன்னல் டயோடின் மற்றொரு முக்கியமான பண்பு அதன் இரைச்சல் அளவீடு ஆகும். இந்த இரைச்சல் அளவீடு கீழ்க்கண்ட சமன் பாட்டால் தரப்படுகிறது.

$$NF = 10 \log \left[1 + \frac{IR_d}{52} \right] \text{ டெசிபெல்கள் ஆகும்.} \quad \ldots 13.6$$

NF என்பது இரைச்சல் அளவீட்டைக் குறிக்கிறது.

R_d என்பது டன்னல் டயோடின் எதிர் மின்தடையை ஓமில் குறிக்கும்.

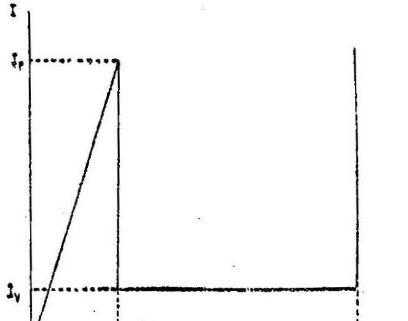
I என்பது D-C பயாசு மின்னோட்டம் (மில்லி ஆம்பியர்களில்). டிரான்சிஸ்டர்களைப் போலல்லாமல் டன்னல் டயோடின் இரைச்சல் அளவீடு அது செயற்படும் அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்து மாறுபடுவதில்லை. இந்த அளவீடு மிகக் குறைவாக இருக்கக் காணலாம்.

பொதுவாக டன்னல் டயோடு ஒரு ஸ்விட்சாகத்தான் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஏனெனில், டன்னல் டயோடு மிகமிக விரைவாகச் செயற்படுகிறது. இது எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் 10^{-9} வினாடிக்கும் குறைவாக இருக்கும். டிரான்சிஸ்டரில் இருப்பதுபோல் ஊர்திகள் அடிவாய்ப் பகுதியைக் கடக்க நேரம் எடுத்துக்கொள்வதில்லை. இந்த டன்னல் டயோடு இவ்வளவு விரைவாகச் செயற்படுவதற்குக் காரணம் அதன் அமைப்பேயாகும். ஆனாலும் இந்த டயோடிலுள்ள மின்தேக்குதிறன் C_d அதன் விரைவை ஓர் அளவு குறைத்துவிடுகிறது. இத்தகைய டன்னல் டயோடின் சிறப்பியல்பு வளைக்கோட்டைத் தோராயமாகப் படம் 13.9-ல் உள்ளதுபோல் கொள்ளலாம்.

கீழ்நிலையிலிருந்து உயர்நிலைக்கு டன்னல் டயோடின் மின்னோட்டம் உயரும்போது அதிலுள்ள மின்தேக்கி (I_p-I_v) மின்னோட்டத்தால் மின்னூட்டம் பெறுகிறது. இதனால் மின்தேக்கி இடையிடையே V_f அளவு மின்னழுத்தம் தோன்றும். இது செயற்படும் நேரத்தைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் பெறலாம்.

$$t = C_d \left[\frac{V_f - V_p}{I_p - I_v} \right] \quad \ldots 13.7$$

I_p யும் C_d யும் p-n சந்தியின் பரப்புக்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். செயல் நேரம் t குறைவாக இருக்க I_p மிகுதியாகவும் C_d குறைந்தும் இருக்கவேண்டும். இதனால் $\frac{I_p}{C_d}$ தகவு டன்னல் டயோடைத் தயாரிக்கப் பயன்படுத்தப் பட்ட பொருளைப் பொறுத்து இருக்கும். இது ஒரு மைக்ரோ-மைக்ரோ பாரட்டுக்கு இத்தனை மில்லி ஆம்பியர்கள் என்று சொல்லப்படும். ஏறத்தாழ 1000 மெகா ஹெர்சு அதிர்வெண்ணில் 0.15 மில்லி ஆம்பியர் (1 மைக்ரோ-மைக்ரோ பாரட்டுக்கு இருக்கும்).



படம் 13.9

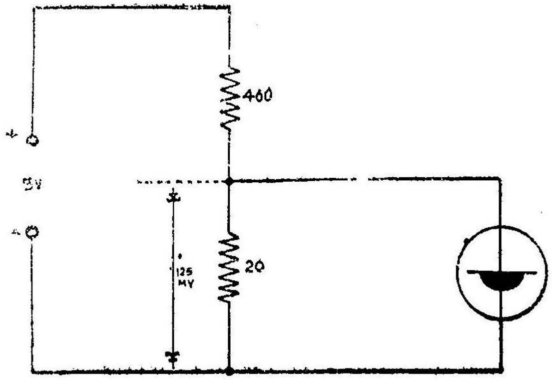
பராமீட்டர் மாறுபாடுகள்

ஒரு டன்னல் டயோடின் செயலானது சுற்றுச் சூழ் நிலைகளால் மாறுபடுவதில்லை. எடுத்துக்காட்டாக டிரான்சிஸ்டர்களை முழுதும் பழுதாக்கிவிடக்கூடிய செறிவுமிக்க அணுக்கரு கதிர்வீச்சுகளில்கூட இந்த டன்னல் டயோடு பாதிக்கப் படாமல் தொடர்ந்து செயற்படும். இது டன்னல் டயோடுக்கே உள்ள தனிச் சிறப்பு மேம்பாடாகும். இருந்தாலும் சுற்றுப்புறத்தின் வெப்ப நிலை இதன் பராமீட்டர்களை, இதன் செயற்பாட்டைப் பாதிக் காமல் விடுவதில்லை.

டன்னல் டயோடு ஒரு ஸ்விட்சாகச் சுற்றில் பயன்படுத்தப் படும்போது அதன் செயலைத் தீர்மானிக்கக்கூடிய ஒரு பராமீட்டர்

I_p தான். எனவே, டன்னல் டயோடுகள் தயாரிக்கப்படும் போதே இதன் மதிப்பு தேவையான அளவுக்கு இருக்குமாறு செய்யப்படுகின்றன. I_p யானது வெப்பநிலை மாறுபாட்டோடு முடிந்தவரை மாறாமல் இருக்கும்படி செய்ய, தயாரிக்கும் முறைகளிலேயே பல உத்திகள் கையாளப்படுகின்றன. அறை வெப்பநிலையில் ஏறத்தாழ உச்சி மின்னோட்டம் I_p மாறாது இருக்கும்படி செய்யப்படுகின்றது. இருந்தாலும் மிகக் குளிர்ச்சியான இடங்களிலும், வெப்பநிலை 60°Cக்கு மேலேயுள்ள இடங்களிலும் டன்னல் டயோடு செயற்படும் பொழுது அதன் உச்சி மின்னோட்டம் I_p சற்று குறையும்.

தாழ் மின்னோட்டம் I_v - யானது ஏறத்தாழச் சுழியாக இருந்தால் மிக நன்றாக இருக்கும். ஆனால், இது மிகக் குறைந்த மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும். அறை வெப்பநிலையில் இது 0. 12 மில்லி ஆம்பியர் இருக்கும். V_p, V_v, V_f, ஆகிய மின்னழுத்தங்கள் எல்லாமே வெப்பநிலை உயரச் சற்று தாழ்ந்துவிடும்.



படம் 13.10
பயாசுடன் டன்னல் டயோடு சுற்றுப் படம்

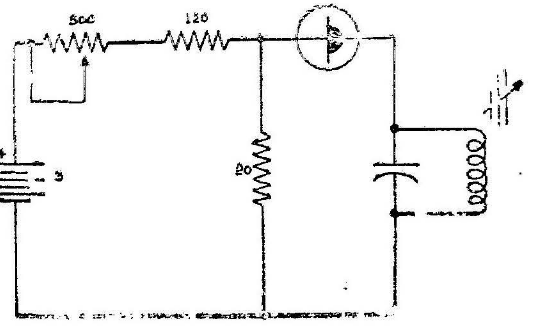
டன்னல் டயோடின் பயன்பாடுகள்

ஒரு டன்னல் டயோடு ஒரு பெருக்கியாகவோ, ஓர் அலையியற்றியாகவோ, அல்லது ஒரு ஸ்விட்சாகவோ பயன்படுத்தப்படலாம். இவற்றில் ஒரு டன்னல் டயோடு அலையியற்றியாகவோ, ஸ்விட்சாகவோதாம் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. ஏனெனில், இவை மிக நிலைத்தன்மை வாய்ந்ததாகவும், மற்ற குறைகடத்திக் கருவிகளுடன் ஒப்பிடப்படும்பொழுது மேம்பாடு உடையதாகவும் இருப்பதே காரணமாகும்.

டன்னல் டயோடு அலை யியற்றிகள்

ஒரு டன்னல் டயோடு ஓர் அலையியற்றியாக, செயற்பட வேண்டுமானால் அதன் எதிர் மின் தடையானது, அந்த ஒத்திசைவுச் சுற்றிலுள்ள மொத்த நேர்மின் தடையைவிட மிகுதியாக இருக்கும்படி அமைக்கவேண்டும். ஒரு டன்னல் டயோடானது ஏறத்தாழ—150 ஓம் எதிர்மின் தடையைப் பெற்றிருக்கும். எதிர்மின் தடைப் பகுதியின் நடுவில் பயாசு பெறும்படி அமைக்கப் பட்டால்தான் இந்த அளவுக்கு எதிர்மின்தடை இருக்கும். சரியான அளவுக்கு இந்த டயோடு பயாசுபெற ஏறத்தாழ 150 மில்லி வோல்ட் தேவைப்படும். இந்நிலையில் டயோடில் மின்னழுத்தம் ஏறத்தாழ 0.6 மில்லி ஆம்பியர்கள் இருக்கும்.

ஒரு டன்னல் டயோடுக்குப் பல்வேறு வழிகளில் பயாசுகள் கொடுக்கப்படலாம். *V* வோல்ட் மின்னழுத்தமுள்ள ஒரு மின்கல



படம் 13.11
ஒரு டன்னல் டயோடு அலைஇயற்றியின் சுற்றுப் படம்

அடுக்கு *R* என்ற மின் தடை, டன்னல் டயோடு ஆகியவற்றுடன் தொடராக இணைக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். டன்னல் டயோடுக்கு 150 மில்லி வோல்ட் பயாசு மின்னழுத்தம் தரும்படி இரண்டு மின் தடைகள் மின்னழுத்தப் பகுப்பான்களாகப் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. இவ்வாறு ஒரு டன்னல் டயோடுக்குப் பயாசு மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்த வகுப்பான் சுற்றைப் படம் 13.10-காட்டுகிறது.

ஒரு டன்னல் டயோடு அலை இயற்றியாகச் செயற்படும். ஓர் அலையியற்றிச் சுற்று அடுத்துள்ள படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் ஒரு டன்னல் டயோடொடு ஓர் ஒத்திசைவுச் சுற்று தொடராக இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இதன் நேர்மின்தடை

டயோடின் எதிர்மின் தடையைவிடத் தாழ்ந்திருக்குமாறு இதன் பகுதிகள் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகின்றன. அலைவுகள் தோன்றும் பொழுது அதிர்வெண் மெகா ஹெர்சு நெடுக்கத்தில் இருக்கும்.

டன்னல் டயோடு அலையியற்றியின் அதிர்வெண்

டன்னல் டயோடு அலையியற்றியில் தோன்றும் அலைவுகளின் அதிர்வெண்ணைக் கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடலாம். படம் 13.11-ல் காட்டப்பட்டுள்ள டன்னல் டயோடின் இணைமாற்றுச் சுற்றை எடுத்துக்கொள்வோம். இதிலிருந்து டன்னல் டயோடின் உள்ளீட்டு மின்மறுப்பு (Input Impendence),

$$Z_i = R_s + jw\,L_s + \frac{R_d\,\dfrac{1}{jwcd}}{R_d\,\dfrac{1}{jwcd}} \quad \ldots 13.8$$

$$Z_i = R_s + jw_{Ls} - \frac{R_d}{1 + jwc_d\,R_d}$$

$$= R_s + jw_{Ls} - \frac{R_d\,[1 - jwc_d\,R_d]}{1 + w^2\,c_d^2\,R_d^2}.$$

$$= R_s - \frac{R_d}{1 + w^2\,c_d^2\,R_d^2} + jw\left[L_s - \frac{C_d\,R_d^2}{(1 + w^2\,C_d^2\,R_d^2)}\right]$$

இதில் மெய்ப்பகுதி (Real part) சுழியாக இருக்கவேண்டும்.

$$R_s - \frac{R_d}{1 + w^2\,C_d^2\,R_d^2} = 0.$$

$$R_s = + \frac{R_d}{1 + w^2\,C_d^2\,R_d^2}$$

$$1 + w^2\,C_d^2\,R_d^2 = + \frac{R_d}{R_s}$$

$$w^2 = \frac{1}{C_d^2\,R_d^2}\left[\frac{R_d}{R_s} - 1\right]$$

$$w = \frac{1}{C_d\,R_d}\left[\frac{R_d}{R_d} - 1\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$f_{CR} = \frac{1}{2\pi}\cdot\frac{1}{C_d\,R_d}\cdot\left[\frac{R_d}{R_s} - 1\right]^{\frac{1}{2}} \quad \ldots 13.9$$

இதுதான் தடைவெட்டு மின்னழுத்தம் ஆகும். இதில் மின் எதிர்ப்பு வெட்டு அதிர்வெண்ணைக் கணக்கிடக் கற்பனைப் பகுதியைச் சுழியாக்கவேண்டும்.

$$L_s - \frac{C_d R_d^2}{1 + w^2 C_d^2 R_d^2} = 0.$$

$$L_s = \frac{C_d^2 R_d^2}{1 + w^2 C_d^2 R_d^2}$$

$$1 + w^2 C_d^2 R_d^2 = \frac{C_d R_d^2}{L_s}$$

$$w^2 = \left[\frac{C_d R_d^2}{L_s} - 1\right] \cdot \frac{1}{C_d^2 R_d^2}.$$

$$w = \left[\frac{1}{L_s C_d} - \left(\frac{1}{R_d C_d}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$f_{ex} = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1}{L_s C_d} - \left(\frac{1}{R_d C_d}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

இதுதான் மின் எதிர்ப்பு வெட்டு அதிர்வெண் ஆகும்.

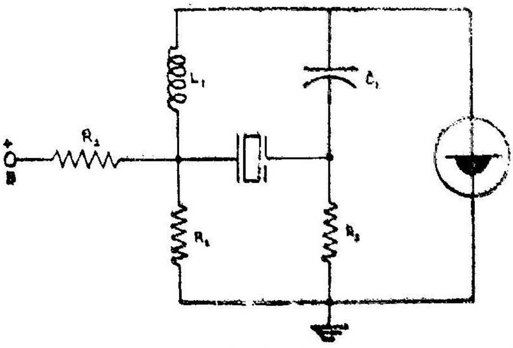
ஓர் அலையியற்றியின் அலைவுகளை ஒரு படிகத்தைக் கொண்டு கட்டுப்படுத்துவது வழக்கமாகும். இதைப் படிகம் கட்டுப்படுத்தும் அலையியற்றி எனக் கூறலாம். அலையியற்றிச் சுற்றின் நிலைத்தன்மையை உயர்த்தி அதிர்வெண் மாறுமல் அலையியற்றி செயற்படும் படி இந்தப் படிகம் கட்டுப்படுத்துகிறது. படம் 13.12-ல் ஒரு டன்னல் டயோடைப் பயன்படுத்திப் படிகத்தால் கட்டுப்படுத்தப் பட்ட அலையியற்றியின் சுற்றுப்படம் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

இந்தச் சுற்றில் டன்னல் டயோடின் எதிர்மின்தடை பெரும் பங்கு வகுக்கும்படி R_1, R_2 இவற்றின் மதிப்புகள் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகின்றன. இந்த இரு மின்தடைகள் இடையே படிகமானது வைக்கப்படுகிறது. ஒத்திசைவு அதிர்வெண் தவிர மற்ற அதிர்வெண்களுக்கு இந்தப் படிகம் மிகுந்த மின்மறுப்பைத் தரும். எனவே, சுற்று செயற்படாது ஒத்திசைவு அதிர்வெண்ணில் மட்டும் படிகம் குறுக்கிணைக்கப்பட்டதுபோல் (short circulted) செயற்பட R_1 R_2 மின்தடைகள் இணையாக வந்துவிடும். இவற்றின் மொத்த மின்தடை R_1 அல்லது R_2 மின்தடையில் பாதி அளவேயிருக்கும். இந்த மின்தடையின் மதிப்பு சுற்றில் எளிதாக

அலைவுகள் தோன்றும்படி செய்கின்றன. அலைவுகளின் அதிர்வெண் மிகத் துல்லியமாக இருக்கும்படி படிகம் பார்த்துக் கொள்கிறது.

டன்னல் டயோடு பெருக்கி

ஒரு டன்னல் டயோடைப் பெருக்கியாகப் பயன்படுத்த முடியும் என்று சொல்லப்பட்டது. டன்னல் டயோடோடு இணைக்கப்படும் வெளிச்சுற்றின் மின்மறுப்பு உயர்த்தப்படுவதாகக் கொள்வோம். இது டன்னல் டயோடின் எதிர் மின்தடைக்குச் சமமாக ஆகும்போது டன்னல் டயோடு அலையியற்றியாகச் செயற்படுவதை நிறுத்தி, பெருக்கியாகச் செயற்படத் தொடங்கும். படம் 13.13-ல் இத்தகைய பெருக்கி ஒன்றின் சுற்றுப்படம் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 13.12
டன்னல் டயோடு படிகக்கட்டுப்பாடு அலையியற்றியாக

இதில் டன்னல் டயோடின் எதிர் மின்தடை அதனுடன் தொடர்புடைய வெளிச்சுற்றின் நேர் மின்தடையால் சரிசெய்யப்பட்டிருக்கிறது. இச்சுற்றில் வெளியீட்டு மின்னழுத்தம் உள்ளீட்டு மின்னழுத்தத்தைவிட மிகுதியாக இருக்கும். எனவேதான் டன்னல் டயோடு பெருக்கியாகச் செயற்படுகிறது. இப்போது கீழ்க்கண்ட ஓர் எளிய சுற்றை எடுத்துக்கொள்வோம்.

e_g-என்பது உள்ளீடு, e_0-வெளியீடு, R_1 என்பது டன்னல் டயோடோடு தொடர்புடைய சுற்றின் இணைமாற்று (மொத்த) மின்தடை.

$-R_d$ = டன்னல் டயோடின் எதிர்மின்தடை.

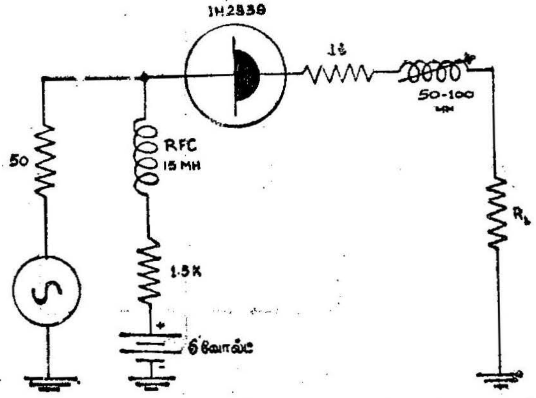
i_L — சுற்றில் மின்னோட்டம்.

$$i_i = \frac{e_g}{R_1 + (-R_d)}$$

$$e_o = \frac{e_g}{R_1 + (-R_d)} \cdot (-R_d) \qquad \dots 13.11$$

டன்னல் டயோடுடன் தொடர்புடைய சுற்றின் மின்தடை R_1 $(-R_d)$க்குச் சமமாகும்போது வெளியீடு உள்ளீட்டைவிட மிகுதிப்பட்டு இருக்கும்.

டன்னல் டயோடு சுற்றில் இல்லாதபோது சுற்றிலுள்ள மின்னோட்டம், வெளியீடு ஆகியவைகளைக் கணக்கிட்டால், [படம் 13.15.]



படம் 13.13
டன்னல் டயோடின் பெருக்கிச் சுற்று

$$R_T = R_1 + R_2$$

$$i_L = \frac{e_i}{R_T} \cdot R_L \qquad \dots 13.12$$

$$e_o = \frac{e_i}{R_T} \cdot R_L \qquad \dots 13.13$$

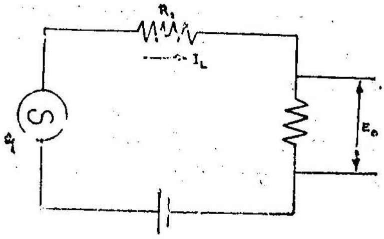
$$\text{திறன் } P_o = \frac{e_i^2}{R_T^2} \cdot R_L \qquad \dots 13.14$$

e_i = உள்ளிடு சைகை.

e_o = வெளியிடு.

R_T = மொத்த மின்தடை.

இப்போது படம் 13.16-ல் காட்டியுள்ளதுபோல் டன்னல் டயோடு சுற்றில் இணைக்கப் படுவதாகக் கொள்வோம். சுற்றில் மின்னோட்டம் i'_L ஆக மாறும். வெளியீடு e'_o, திறன் p'_o எனக் கொள்ளலாம். R_d-என்பது டன்னல் டயோடின் எதிர் மின்தடையாகும்.



படம் 13.14
டன்னல் டயோடின் பெருக்கி இணைமாற்றுச் சுற்று

எனவே, மின்னோட்டம் $i_1 = \dfrac{e_1}{R_T = R_d}$

வெளியிடுசைகை $e'_o = \dfrac{e_1}{R_T - R_d} \cdot R_L$

திறன் $P'_o = \dfrac{e_1^2}{(R^T - R_d)^2} \cdot R_L$.

எனக் கணக்கிடப்படுகிறது.

மின்னோட்டப் பெருக்குதிறன் $A_i = \dfrac{i_L'}{i_L} = \dfrac{R_T}{R_T - Rd}$ ...13·15

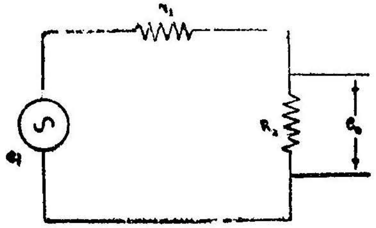
மின்னழுத்தப் பெருக்குதிறன் $A_v = \dfrac{e'_o}{e_o} = \dfrac{R_T}{R_T - Rd}$ ...13.16

திறன் பெருக்கம் $A_p = \dfrac{P_o^1}{P_o} = \dfrac{R_T^2}{(R_T - Rd)^2}$ ...13.17

R_Tவெளிச்சுற்றின் மின் மறுப்பு ஆகும். இது டயோடின் எதிர் மின்தடை $(-R_d)$க்குச்சமமாகும்போது வெளியீட்டுச் சைகையின் மதிப்பு முடிவிலாத் தொகையை அடைவதைக் காணலாம். உண்மையில் இவ்வாறு நடைபெறுவது இல்லை. ஆனால் $R_T \approx R_d$ ஆகும்போது வெளியீட்டுச் செய்கை பெருமதிப்பாயிருக்கக் காணலாம். இந்நிலையில் $\dfrac{e_o}{e_i}$ தகவு பெருமதிப்பைக் கொடுக்கிறது.

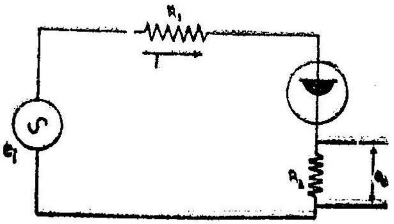
டன்னல் டயோடு ஸ்விட்சுகள்

ஒரு டன்னல் டயோடு பெரும்பாலும் ஸ்விட்சு சுற்றுகளில் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. (Logic) இலாஜிக் சுற்றுகள், பல் அதிர்விகள், நேர்ப்பாங்கற்ற அதிர்விகள், வகைப்படுத்தும் சுற்றுகள் போன்றவற்றில் இந்த டன்னல் டயோடு பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இந்த டன்னல் டயோடு மிக விரைவாக 10^{-9} விநாடி நேரத்திற்குள் ஒரு நிலையிலிருந்து மற்றொரு நிலைக்கு மாற்றிவிடும் தன்மையுடையதால் இது ஒரு மிக நல்ல ஸ்விட்சாகச் செயற்படுகிறது. இது ஸ்விட்சாக எவ்வாறு செயற்படுகிறது என்பதைத் தெளிவாக அறிய அதன் சிறப்பியல்பு வளைகோட்டை மீண்டும் எடுத்துக் கொள்வோம். டன்னல் டயோடானது ஒரு பெருக்கியாக நேர்ப்பாங்கான



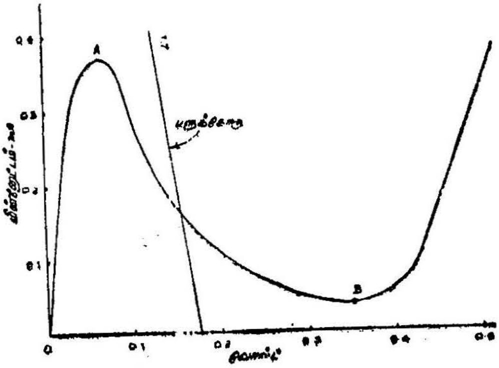
படம் 13.15

முறையில் செயற்பட அதன் மின்தடைப் பகுதியின் நடுப்புள்ளியில் டயோடு பயாசு பெற்றிருக்குமாறுச் செய்யப்படுகிறது. மேலும் அதன் செயல் தேவைக்கேற்றபடி இருக்குமாறு செய்ய டன்னல் டயோடு சுற்றுக்கு இணைக்கப்படும் மின்தடை ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்புடையதாக இருக்கும்படி தேர்ந்தெடுக்கப்படுகிறது. இதன் பளுக்கோடான (load line) சிறப்பியல்பு வளைகோட்டை எதிர் மின்தடைப் பகுதியில் வெட்டுமாறும் அதன் கோணம் அப்புள்ளியின் வளைகோட்டின் சாய்வைவிட அதிகமாக இருக்கும்படியும், பளுத்தடை தேர்ந்தெடுக்கப்படுகிறது. படம் 13.17 R_1-பளுத்தடைக்கான இத்தகைய பளுக்கோடு ஒன்றைக் காண்பிக்கிறது. பளுக்கோடானது எவ்வளவுக்கெவ்வளவு நிமிர்ந்திருக்கிறதோ, அவ்வளவுக்கவ்வளவு குறைந்த மின்தடையை அது குறிக்கும். பளுக்கோடு கிடைத்தளத்தில் சாய்ந்திருந்தால் சுற்றில் பளுத்தடை மிக அதிகமாக இருக்கும். படம் 13.18-ல் பளுக்கோடு டன்னல் டயோடின் வெளிச்சுற்றில் பளுத்தடை மிகுந்திருப்பதைக் காண்பிக்கிறது.



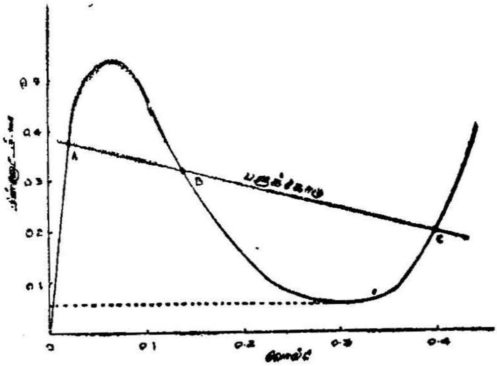
படம் 13.16

இந்தக்கோடு சிறப்பியல்பு வளைகோட்டை $A, B, C,$ என்ற மூன்று புள்ளிகளில் வெட்டுகிறது. A, C ஆகிய இருபுள்ளிகளும் நிலைத் தன்மைக்கு நேரானவை. B-புள்ளி நிலைத்தன்மை அற்றது. இப் புள்ளியில் டயோடு செயற்படுவதாகக் கொண்டால் மின்ன ழுத்தம் குறைக்கப்படும்போது மின்னோட்டம் அதிகரிக்கக்



படம் 13.17
டன்னல் டயோடு சிறப்பியல் தடை R_1-க்கான பளுக்கோடு

காணலாம் A-புள்ளி இதற்கு மாறுபட்டது. ஏனெனில் இது நேர் மின்தடைப் பகுதியிலுள்ளது. மின்னோட்டத்தை அதிகரிக்க மின்னழுத்தத்தையும் அதிகரிக்கவேண்டும், இதேபோன்று

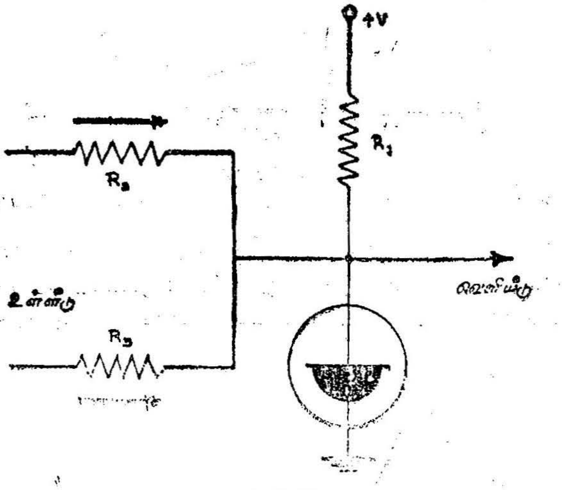


படம் 13.18
உயர் மின்தடை பளுக்கோடு

C-புள்ளியும் நேர்மின்தடைப் பகுதியில்தான் உள்ளது. எனவே, படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் பளுக்கோட்டுக்குச் சரியான

மின்தடையுடைய ஒரு சுற்றில் இரண்டு நிலைத்தன்மையான நிலைகளும் ஒரு நிலைத் தன்மையற்ற நிலையும் இருக்கக்காணலாம். நிலைத்தன்மை, புள்ளிகளில் ஒன்றில் (A-புள்ளியில்) மின் மறுப்பு மிகக்குறைவாக அமைந்து மின்னோட்டம் மிகுதியாகவும், மின்னழுத்தம் குறைவாகவும் இருக்கக்காணலாம். ஆனால், மற்றொரு நிலைத்தன்மையுள்ள C-ல் நிலைத்தன்மை மிகுதியாக அமைந்து மின்னோட்டம் குறைவாக இருக்கிறது. இதில் மின்னழுத்தம் மிகுதியாக இருக்கும்.

ஒரு டன்னல் டயோடை ஸ்விட்சாகப் பயன்படுத்த அது A-புள்ளியில் நேரான நிலையில் செயற்படுமாறு பாயசு கொடுக்கப் படுகிறது. பிறகு வலிமையான மின்னோட்டத்துடிப்பு ஒன்றைச்

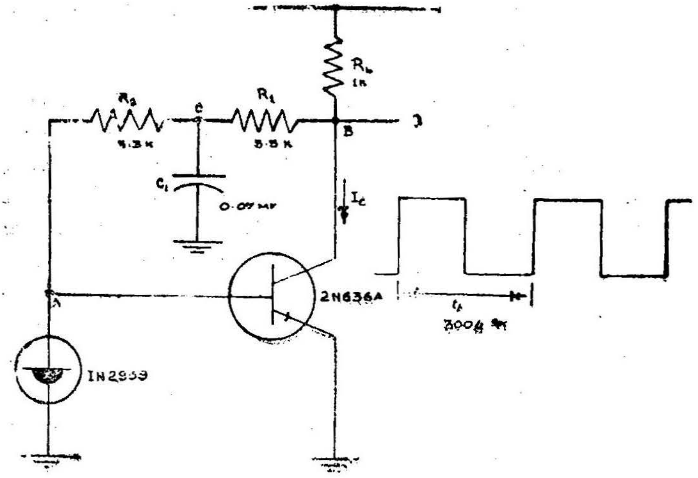


படம் 13.19
மாற்று அல்லது கூட்டுச் சுற்று

சுற்றுக்குக்கொடுத்தால் செயற்புள்ளியானது உச்சி மின்னோட்டம் நோக்கி நகரும். பிறகு உச்சி மின்னோட்ட நிலையிலிருந்து எதிர் மின்தடைப் பகுதிக்கு இறங்கி மிக விரைவாக C-புள்ளியை அடையும். செயற்புள்ளி A-நிலையிலிருந்து C-நிலைக்குச் செல்லுவதற்கு அது எடுத்துக்கொள்ளும் நேரம் மிகமிகக் குறைந்ததாக 10^{-9} வினாடிக்கும் குறைவாக இருப்பதால்தான் இது ஒரு விரைந்த ஸ்விட்சாகச் செயற்படுகிறது. டன்னல் டயோடு C-புள்ளியிலேயே தொடர்ந்து இருந்துவிடும். இதை A-புள்ளி நிலைக்கு மீண்டும் மாற்ற மின்னோட்டத்துடிப்பை எதிர்த்திசையில் புகுத்த

வேண்டும். உடனடியாகச் சுற்றானது A புள்ளிக்கு வருமாறு—துவக்கநிலைக்கு வருமாறு செய்யப்படுகிறது. இதற்குக்கூட அது மிகமிகக் குறைந்த நேரத்தையே எடுத்துக்கொள்ளும். படம் 13.19-ல் இத்தகைய ஸ்விட்சு சுற்று காண்பிக்கப் பட்டுள்ளது.

டன்னல் டயோடு A-புள்ளியில் செயற்படுமாறு பயாசு பெற்றிருக்கிறது. R_1 வழியாக ஒரு மின்னோட்டத்துடிப்பு சென்றால் செயற்புள்ளி உச்சநிலையை அடைந்து உடனடியாக C-நிலைக்குச் சென்றுவிடும். R_2 வழியே இதே அளவு மின்னோட்டம் சென்றாலும்



படம் 13.20
சதுர அலை இயற்றியாக டன்னல் டயோடு செயற்படுதல்

செயற்புள்ளி A-யிலிருந்து C-க்குச் செல்லுவதாகக் கொள்வோம். அதாவது செயற்புள்ளியை A-யிலிருந்து C க்கு மாற்ற R_1 வழியாகவோ அல்லது R_2 வழியாகவோ மின்துடிப்பு செல்ல வேண்டும். எனவே, இது 'மாற்று இலாஜிக் ஸ்விட்சு சுற்று' (or logic circuit) என்று சொல்லப்படுகிறது. R_1 லும் R_2 லும் ஒரே நேரத்தில் மின்துடிப்பு சென்றால்தான் செயற்புள்ளி A-யிலிருந்து C க்கு மாறும் என்றிருந்தால் இது ஒரு 'கூட்டுச் சுற்று' (And logic-cricuit) என்று சொல்லப்படுகிறது.

A-புள்ளியில் இருக்கும்போது சுற்றிலிருந்து வெளியீட்டு மின்னழுத்தம் இருக்காது. ஏனெனில் A-புள்ளி மின்மறுப்பானது

மிகமிகக் குறைவாக இருந்து டயோடு சுற்றில் மிகுந்த மின்னோட்டமும், குறைந்த மின்னழுத்தமும் ஏற்படுத்தும். எனவே, வெளியீடு இருக்காது.

இவ்வாறு உட்புகுத்தப்படும் மின்துடிப்பு சுற்றின் மின்னழுத்தத்தைத் தாழ்நிலையிலிருந்து மேல்நிலைக்கு உயர்த்தி வெளியீட்டு மின்னழுத்தத்தைத் தோற்றுவிப்பதைத்தான் ஸ்விட்சின் செயல் என்கிறோம். ஒரு டன்னல் டயோடு எவ்வாறு ஒரு ஸ்விட்சாகச் செயற்படுகிறது என்பதை இது விளக்குகிறது.

படம் 13.20-ல் ஒரு டிரான்சிஸ்டரும், ஒரு டன்னல் டயோடும் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள ஒரு பல் அதிர்வியின் சற்றுப் படம் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

C_1 என்ற மின்தேக்கி R_1 R_L வழியே மின்னூட்டம் பெறும். இதனால் மின்தேக்கியின் முனைகளிடையே மின்னழுத்தம் உயர R_2 வழியே மின்னோட்டம் மிகும். R_2 டன்னல் டயோடுக்கு இணைக்கப்பட்டிருப்பதால் இதன் வழியேயும் மின்னோட்டம் இருக்கும். இந்த மின்னோட்டம் உச்ச மதிப்பை அடைந்தவுடன் மிகுந்த மின்னழுத்த நிலைக்கு விரைவாக மாறிவிடும். இதனால் R_2 வழியிலுள்ள மின்னோட்டம் டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாய்ப் பகுதியில் ஓடும்படி ஆகிவிடும். இது தெவிட்டிய நிலையை அடைய ஏற்புவாய் நிலைமின்னழுத்தத்திற்கு வந்துவிடும். உடனே மின்தேக்கி C_1 மின்னிறக்கத்தைக் கொடுக்க, டயோடின் மின்னோட்டம் தாழ்நிலைக்கு வந்துவிடும். உடனே டிரான்சிஸ்டரின் அடிப்பகுதி மின்னோட்டம் டிரான்சிஸ்டரிலிருந்து வெளியேறிவிடும். மின்னோட்டம் வெட்டுநிலையை அடையும். மீண்டும் மின்தேக்கி C_1 மின்னூட்டம்பெற இச்செயல் மாறி மாறிச் சுற்றுமுறையில் நடைபெறும். இது ஒரு பல் அதிர்விச் சுற்று. இதன் வெளியீடு ஏறத்தாழ சதுர அலைவடிவமாக இருக்கும்.

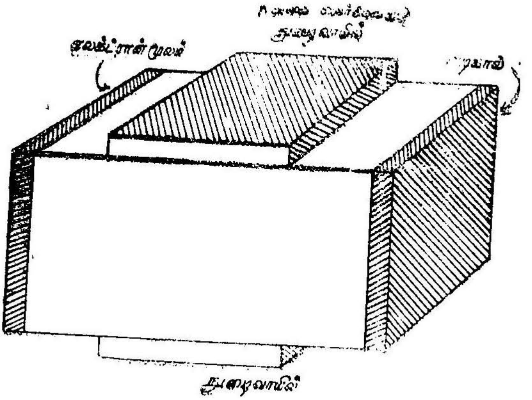
புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர்
(Field effect Transistor)

புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர்

புலவிளைவுடிரான்சிஸ்டர் என்பது வழக்கமான டிரான்சிஸ்டர்களிலிருந்து மாறுபட்ட அமைப்புடைய மற்றொரு டிரான்சிஸ்டராகும். இது அமைப்பில்மட்டும் மாறுபட்டிருக்கவில்லை;

செயற்படும் முறையிலும் இது மற்றவற்றிலிருந்து முற்றிலும் வேறுபட்டதாக இருக்கிறது. இதன் செயல்முறை இதுவரை விளக்கப்படாத புதிய முறையாகும்.

படம் 13.21-ல் ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரின் அமைப்புக் காண்பிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்த அமைப்பின் உட்பகுதியில் நீள் சதுரக்கட்டை போன்ற வடிவத்தில் *n*-வகை ஜெர்மேனியப் படிகம் உள்ளது. கட்டையின் மேற்பரப்பிலும் கீழ்ப்பரப்பிலும் *P*-வகைக் குறைகடத்திப்பொருள்களைக் கொண்ட *P-N* சந்திகள் உருவாக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இந்தச் சந்தியின் தளங்கள் கட்டையின் நீளவாகுக்கு இணையாக இருக்கும்.

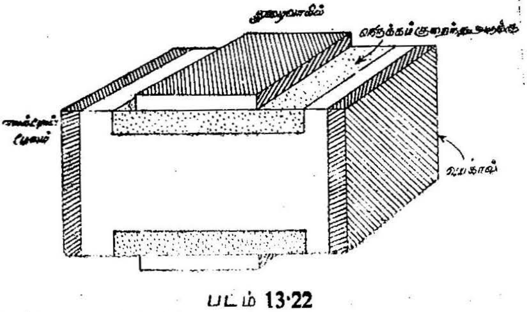


படம் 13.21
புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரின் அமைப்பு

இந்தச் சந்திகள் தோற்றுவிக்கப்படும்போது *p*-வகைப் பகுதியின் கடத்துதிறன் *n*-வகைப் பகுதியின் கடத்துதிறனைவிடப் பெருமளவு மிஞ்சியிருக்குமாறு அமைக்கப்படும். இந்த இரண்டு சந்திகள் தவிர *n*-வகைக்கட்டையின் ஒவ்வொரு முனையிலும் ஒரு தடைத் தொடுப்பு இணைக்கப்பட்டிருக்கும். இந்தத் தொடுப்புகள் வெளியிலிருந்து மின்னழுத்தத்தையோ அல்லது சைகைகளையோ டிரான்சிஸ்டருக்குக் கொடுப்பதற்கு இணைப்புகளாகப் பயன்படும்.

இதற்குமுன் விளக்கப்பட்ட டிரான்சிஸ்டர்களில் உமிழ்வாய், அடிவாய், ஏற்புவாய் என்ற மூன்று மின்வாய்கள் இருப்பதாகச் சொல்லப்பட்டன. இந்தப்புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரில் இவற்றிற்கு வேறு புதிய பெயர்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. கட்டையின் நடுப்பகுதியில் தோற்றுவிக்கப்பட்டுள்ள சந்திகளிலுள்ள *p*-வகைப்

பகுதிக்கு நுழைவாயில் (gate) என்று பெயர். படத்தில் காட்டியுள்ளதுபோல் முனையிலுள்ள இணைப்புகளுக்கு ஒரு மின்கல அடுக்கு இணைக்கப்பட்டு ஒரு $d.c$ மின்னழுத்தம் கொடுக்கப்படுகிறது. n-வகைக் குறைகடத்தியின் உள்ளேயுள்ள எலக்ட்ரான்கள் எதிர்மின்வாய் முனையிலிருந்து நேர்மின்வாய் முனைநோக்கி ஓடும். இதனால் கட்டையினுள்ளே ஒரு மின்னோட்டம் இருக்கும். எதிர்மின்வாய் முனையிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் குறைகடத்திக் கட்டைக்குள் நுழைந்து செல்வதால் இந்த எதிர்மின்வாய் முனை எலக்ட்ரான்களைக் கொடுப்பதாகக்கொள்ளலாம். எனவே, எதிர்மின்வாய் முனை 'எலக்ட்ரான் மூலம்' (Source) என வழங்கப்படுகிறது. குறைகடத்திக்கட்டையின் நேர்மின்வாய் முனையில் குறைகடத்தியிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் நேர்மின்வாய்க்குள் நுழைந்து சென்றுவிடுகின்றன. எனவே, இந்த நேர்மின்வாய் முனை 'எலக்ட்ரான் வடிகால்' (drain) என வழங்கப்படுகிறது. குறைகடத்திக்கட்டையின் மேல் பரப்பின் மேலும், கீழ்ப்பரப்பின் மீதுமுள்ள P-வகைப் பகுதிகள் நுழைவாயில்கள் (gates) எனப்படுகின்றன.

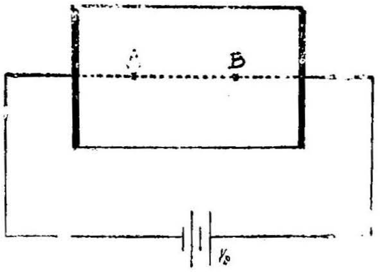


படம் 13·22
புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு

முதலில் நுழைவாயில் சந்தியில் எந்த மின்னழுத்தமும் கொடுக்கப்படவில்லை என்று கொள்வோம். இப்போது எலக்ட்ரான் மூலம், வடிகால் ஆகியவற்றிற்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் V_D-சுழியாக இருக்கட்டும். இப்போது n-வகைக் கட்டையின் மேலும் கீழும் உள்ள சந்திகளில் தோன்றும் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்குகளின் எல்லைகள் அல்லது ஓரங்கள் குறைகடத்திக் கட்டையின் நீளவாக்குக்கு இணையாக அமைந்திருக்கும். நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலமானது அவற்றின் சமநிலை மதிப்பை அடைந்து சீராக (uniform) இருக்கும். சந்தியில் P-பகுதியின் கடத்துதிறன் n-பகுதி கடத்துதிறனைவிடப் பெருமளவு மிஞ்சி

யிருப்பதால் P-N சந்திகளின் (மேல், கீழ் உள்ள) நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு பெரும்பாலும் n-பகுதியின் குறுக்கே விரிந்திருக்கும். இது இணையாக, $V_D = 0$ ஆக இருக்கும்போது, இருக்கும் நிலையைப் படம் 13.22 காட்டுகிறது.

இப்போது எலக்ட்ரான் மூலம், வடிகால் ஆகியவற்றிடையே ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னழுத்தம் V_D கொடுக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். V_D-மின்னழுத்த வேறுபாடுள்ள ஒரு மின்கல அடுக்கை மூலம், வடிகால் இவற்றிடையே இணைத்து இந்த மின்னழுத்தத்தைக் கொடுக்கலாம். எலக்ட்ரான் மூலம் எதிர் மின்வாய்க்கும், வடிகால் நேர்மின்வாய்க்கும் இணைக்கப்படுகிறது. இதனால் வடிகால் நேர்மின்னழுத்தத்திலும் (Positive potential), எலக்ட்ரான் மூலம் எதிர் மின்னழுத்தத்திலும் (negative potential) இருக்கும். வடிகாலில் இருந்து எலக்ட்ரான் மூலம் வரை ஒரேசீரான நேர்மின்னழுத்த வீழ்ச்சி இருக்கும். அதாவது எலக்ட்ரான் மூலத்திலிருந்து வடிகால் நோக்கிச் சென்றால் நேர் மின்னழுத்தமானது படிப்படியாக உயர்ந்துகொண்டே செல்லும்.

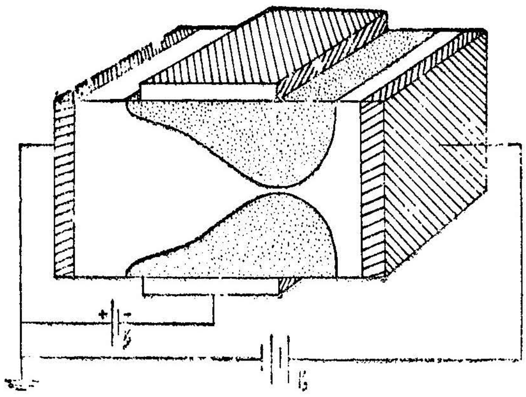


படம் 13·23

இப்போது n-வகைக் குறைகடத்திக் கட்டையினுள்ளே A, B-என்ற இரண்டு புள்ளிகளை எடுத்துக் கொள்வோம். A-புள்ளி எலக்ட்ரான் மூலத்தின் பக்கத்திலும், B-புள்ளி வடிகால் பக்கத்திலும் இருக்கின்றன. எலக்ட்ரான் மூலத்துடன் ஒப்பிடப்படும்போது A-புள்ளி ஒரு சிறிய நேர் மின்னழுத்தம் (Positive potential) கொண்டிருக்கும். இந்த நேர் மின்னழுத்தம் நுழைவாய் p-பகுதியில் உள்ள (A-புள்ளியருகேயுள்ள P-பகுதியில்) துளைகளை விலக்கித்தள்ளும். அதேநேரத்தில் n-வகைக் குறைகடத்தி கட்டைப் பகுதியிலுள்ள எலக்ட்ரான்களைத் தன்னை நோக்கி ஈர்க்கும். எனவே, A-புள்ளி அருகிலுள்ள நுழைவாய் P-N சந்தியின் ஒரு பகுதி திருப்பிய பயாசில் இருப்பதாகக் கொள்ளலாம்.

இப்போது B-புள்ளியை எடுத்துக்கொள்வோம். இது வடிகால் அருகே இருப்பதால் A-புள்ளியைவிட அதிகமான நேர் மின்னழுத்தத்தைப் பெற்றிருக்கும். (எலக்ட்ரான் மூலத்துடன் ஒப்பிடப்படும்போது). எனவே, B-புள்ளியிலுள்ள மிகுதியான

நேர்மின்னழுத்தம் அதனருகேயுள்ள நுழைவாய்ச்சந்தியின் *p*-பகுதியிலுள்ள துளைகளை மிகுந்த விசையுடன் விலக்கித்தள்ளும். *B*-புள்ளியும் திருப்பிய பயாசைத்தான் பெற்றிருக்கிறது. ஆனால் *B*-புள்ளியிலுள்ள திருப்பிய பயாசு *A*-புள்ளியில் இருப்பதைவிட மேலே சொல்லப்பட்ட காரணத்தால் மிகுதியாக இருக்கும். *B*-புள்ளியில் துளைகள் மிகுதியாக விலக்கித்தள்ளப்படுகின்றன என்று சொன்னால் அப்புள்ளியில் எலக்ட்ரான்கள் மிகுந்த விசையுடன் ஈர்க்கப்படுகின்றன என்று பொருள். எனவே, *A*, *B* ஆகிய இரண்டு புள்ளிகளுக்குமிடையே எலக்ட்ரான்கள் ஒரே சீராக பரவியிருக்காது. அதாவது *A*-புள்ளியிலிருந்து *B*-புள்ளி நோக்கிச் செல்லும்போது திருப்பிய பயாசு அதிகரித்துக் கொண்டே செல்லும். இந்நிலையில் *n*-வகைக் குறைகடத்திக் கட்டையின் மேலும் கீழும் உள்ள நுழைவாயில் சந்திகளில் தோன்றும் நெருக்கம்குறைந்த அடுக்குகள் சீரானதாக, இணையாக இருக்கமாட்டா. *A*-புள்ளியின் அருகே சிறிதளவு பரவியும், *B*-புள்ளியருகே மிகுந்த அளவு பரவியும் இருக்கும். ஏனெனில்



படம் 13.24
புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு பரவியிருத்தல்

நெருக்கம் குறைந்த பகுதியின் அகலம் திருப்பிய பயாசுக் கேற்றவாறு அதைச் சார்ந்து அமையும் என்பது தெளிவு.

இப்போது எலக்ட்ரான் மூலத்திற்கும், வடிகாலுக்குமிடையே கொடுக்கப்பட்டுள்ள மின்னழுத்தம் V_D-ஆல் *n*-வகைக் குறைகடத்திக் கட்டையில் வடிகால் நோக்கி எலக்ட்ரான் ஓட்டம் இருக்கும். இந்த எலக்ட்ரான்கள் மேலும் கீழும் தோன்றியிருக்கும் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்குகளின் இடையே குறுகலான பகுதியில்

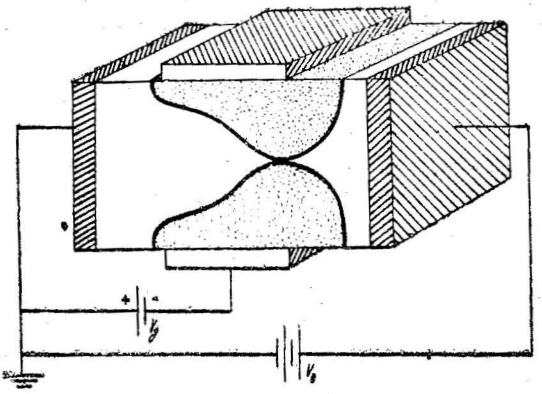
ஓடவேண்டியிருக்கும். நெருக்கம் குறைந்த அடுக்குகளால் தோற்றுவிக்கப்படும் இந்தக் குறுகலான வழி கால்வாய்போல் அமைவதால் இது 'கால்வாய்' (Channel) என்றே அழைக்கப்படு கிறது. இந்தக் கால்வாய்வழியே எலக்ட்ரான்கள் புகுந்து ஓடுவதால் தோன்றும் மின்னோட்டத்தை 'வடிகால் மின்னோட் டம்' (drain current) என்று கூறுகிறோம். நெருக்கம் குறைந்த பகுதி n-வகைக் கட்டைக்குள் பரவியிருப்பதைப் படம் 13.24 காட்டுகிறது.

இப்போது நுழைவாயில் இணைப்பிற்கு ஓர் எதிர்மின்னழுத்தம் V_g (வடிகாலுடன் ஒப்பிடப்படும்போது) கொடுக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இந்த எதிர் மின்னழுத்தத்தை-V_g மின்னியக்கு விசை கொண்ட ஒரு மின்கலத்தை இணைத்துக் கொடுக்கலாம். மின்கல அடுக்கின் எதிர்மின்வாய்ச் சந்தியைத் தோற்றுவிக்கும் மேல், கீழ் பகுதிகளில் உள்ள p-வகைப் பகுதிகளுக்கு இணைக்கப் படுகிறது. இதன் நேர்மின்வாய் எலக்ட்ரான் மூலத்துடன் இணைக்கப்படும். இந்த மின்னழுத்தம்-V_g 'நுழைவாயில் பயாசு' (gate bias) எனப்படும். இந்தப் பயாசு கொடுத்தவுடன் n-வகைக் குறைகடத்திக்கட்டைக்குள் உள்ள நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் வடிவம் சற்று மாறுபடும். எலக்ட்ரான் அல்லது எதிர் மின்னோட் டங்கள் n-பகுதிக்கட்டைக்குள் ஒரு குறிப்பிட்ட சீரற்ற முறையில் பரவியிருப்பதாகச் சொல்லப்பட்டது. இது மூலம், வடிகால் இவற்றிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் V_D-ஆல் ஏற்பட்டது. இப்போது கொடுக்கப்பட்டுள்ள நுழைவாயில் பயாசு V_D-ஆல் தோன்றியுள்ள மின்புலத்திற்கு உதவிடும் வகையில் மேலும், கீழும் உள்ள நெருக்கம் குறைந்த பகுதிகளின் அகலத்தை மிகுதியாக்கி அவை மேலும் n-வகைப் பகுதிக்குள் பரவுமாறு செய்கிறது.

மேலும் கீழும் உள்ள இரண்டு நெருக்கம் குறைந்த அடுக்குகள் முன்பு இருந்ததைவிட இப்போது நெருங்கி இருக்கும். அதாவது கால்வாயின் அகலம் மேலும் குறுகிவிடும். இந்த நுழைவாய் பயாசை மேலும் அதிகரித்தால் மேலும் மேலும் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்குகள் ஒன்றையொன்று நெருங்க, கால்வாயின் அகலம் குறைந்துகொண்டே செல்லும். நுழைவாயில் பயாசின் மதிப்பு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை அடையும்போது மேலும் கீழும் உள்ள நெருக்கம் குறைந்த அடுக்குகள்-விரிந்துகொண்டே வந்த அடுக்குகள்-இப்போது ஒன்றையொன்று தொட்டுவிடும்.

இரண்டிற்கு மிடையே கால்வாய் இடைவெளியே இருக்காது. இந்நிலையில் வடிகால் மின்னோட்டத்தைத் தோற்றுவிக்கும் எலக்ட்ரான்கள் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் அடுக்குகளின் இடையே துளையிட்டுச் செல்லவேண்டியிருக்கும். இதை 'துளையிட்டுச் செல்லும் நிலை' (Punch through condition) என்கிறோம். இந்நிலையைப்படம் 13.25 காட்டுகிறது.

நுழைவாயில் பயாசு மேலும் அதிகரிக்கப்பட்டால், தொடும் அடுக்குகள் மேலும் நெருங்கி ஒன்றின்மேலொன்று கவிழ்ந்திருக்கும் நிலையை அடையும். இப்போது வடிகால் நோக்கி ஓடும் எலக்ட்ரான்கள் இந்தத் தடுப்பைத் துளைத்துச் செல்வது எளிதாக இருக்காது. எனவே வடிகால் மின்னோட்டம் குறையும். இந்நிலையை 'நெருக்கித் தவிர்க்கும் நிலை' (Pinch off condition) என்கிறோம்.



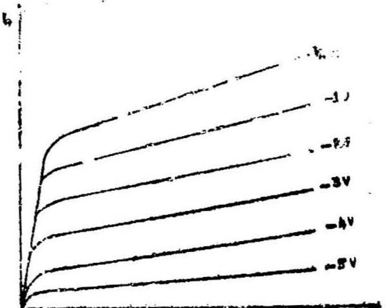
படம் 13·25
புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரில் துளையிட்டுச் செல்லும் நிலை

இப்போது நுழைவாயில் பயாசு V_gஐ ஒரு குறிப்பிட்ட அளவில் மாறாது வைத்துக்கொண்டு எலக்ட்ரான் மூலம், வடிகால் இவற்றிடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு-V_D மிகுதிப்படுவதாகக் கொள்வோம். V_D-மிகுதியாக மிகுதியாக வடிகால் மின்னோட்டம்-I_D மிகுதியாகிக்கொண்டே செல்லும். V_D-ன் மதிப்பு ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை அடைந்தவுடன்-I_D மிகுதியாவது நின்றுவிடும். அதாவது வடிகால் மின்னோட்டம் I_D-ஒரு தெவிட்டிய நிலையை அடைந்துவிடுகிறது. இந்தத் தெவிட்டிய மின்னோட்டத்தின் அளவு நெருக்கம் குறைந்த அடுக்குகளினால் அல்லது கால்வாயின் அகலத்தினால் தீர்மானிக்கப்

படுகிறது. வேறுவகையில் சொன்னால் கால்வாயின் அகலம் நுழைவாயில் பயாசைப் பொறுத்து அமைவதால் வடிகால் மின்னோட்டத்தின் தெவிட்டிய அளவு நுழைவாயில் பயாசினால் தீர்மானிக்கப்படுகிறது.

நுழைவாயில் பயாசு ஒரு குறைந்த அளவில் மாறாது வைக்கப்பட்டு V_D-மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கப்பட்டால் அதற்கேற்றவாறு வடிகால் மின்னோட்டம் I_D-யும் அதிகரித்துத் தெவிட்டிய நிலையை அடையும். இப்போதுள்ள வடிகால் மின்னோட்டத்தின் தெவிட்டிய அளவு முன்பு இருந்ததைவிட அதிகமாய் இருக்கக் காணலாம். படம் 13.26-ல் பல்வேறு நுழைவாயில் பயாசில் வடிகால் மின்னோட்டம்-I_D மின்னழுத்தம் V_D-யோடு எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதனைக் காட்டுகிறது. இவை ஒரு பென்டோடு வெற்றிட வால்வின் சிறப்பியல்புக் கோடுகளை ஒத்திருக்கக் காணலாம்.

படத்தில் 0-புள்ளியிலிருந்து C-வரை வடிகால் மின்னோட்டம் I_D மின்னழுத்தம் V_D-யோடு உயர்வதைக் காணலாம். இப்பகுதியில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்குகளிடையேயுள்ள அகலம் மிகுதியாக அமைந்து. வடிகால் மின்னோட்டத்தை அதிகமாகப் பாதிக்காமால் இருக்கிறது எனக் கொள்ளலாம். நுழைவாயில் பயாசு அதிகரிக்கப்படும்போது கால்வாயின் அகலம் குறுகி வடிகால் மின்னோட்டத்தைக் குறைத்து விடுவதைப் படம் காட்டுகிறது. வடிகால் மின்னோட்டத்தின் தெவிட்டிய அளவும், நுழைவாயில் பயாசு அதிகரிக்க அதிகரிக்கக் குறைந்துகொண்டே செல்வதைக் காணலாம். இவ்வாறு நுழைவாயிலுக்குக் கொடுக்கப்படும் பயாசு n-வகைக் குறைகடத்திக்குள்ளே ஒரு மின்புலத்தைத் தோற்றுவித்து வடிகால் மின்னோட்டத்தின்மீது ஒரு விளைவைக் கொண்டிருப்பதால்தான் இது ஒரு 'புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர்' (Field Effect Transistor) என்று அழைக்கப்படுகிறது. 'FET' என்று சுருக்கமாகக் கூறப்படுகிறது.



படம் 13.26
புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரின்
சிறப்பியல்புகள்

கொடுக்கப்படும் மின்புலமானது - நுழைவாயிலுக்கும் எலக்ட்ரான் மூலத்திற்கும் இடையேயுள்ள மின்புலமானது-n-வகைக் குறைகடத்திக் கால்வாயின் மின்தடையை அல்லது மின் கடத்துதிறனைக் கட்டுப்படுத்துகிறது. இதனுல் வடிகால் மின்னோட்டம் அதற்கேற்றவாறு மாறுபடுகிறது. நுழைவாயிலுக்குக் கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தம் வடிகால் மின்னோட்டத்தைக் கட்டுப்படுத்துவதால் இதை ஒரு 'மின்னழுத்தக் கட்டுப்பாட்டுக்கருவி' (Votage controlled device) அல்லது மின்னழுத்தச் செயற்பாட்டுக் கருவி' (voctage operated device) என்று சொல்லலாம். இதன் செயல்முறை வழக்கமான டிரான்சிஸ்டர்களிலிருந்து மாறுபட்டது. டிரான்சிஸ்டர்கள் பொதுவாக 'மின்னோட்டச் செயற்பாட்டுக் கருவி' (current operatee device) களாகும்.

வழக்கமான டிரான்சிஸ்டர்களுக்கும், புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டருக்கும் சில முக்கியமான வேறுபாடுகள் உள்ளன.

1. மேலே குறிப்பிட்டதுபோல் டிரான்சிஸ்டர்கள் மின்னோட்டச் செயற்பாட்டுக்கருவிகளாக இருக்க, புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர் ஒரு மின்னழுத்தச் செயற்பாட்டுக் கருவியாகும்.

2. வழக்கமான டிரான்சிஸ்டர்களில் இருவகை ஊர்திகளும் (எலக்ட்ரான்களும், துளைகளும்) மின்னோட்டத்தில் டிரான்சிஸ்டரின் செயலில் பங்குபெறுகின்றன. ஆனுல் புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரில் ஓரே ஓர் ஊர்தி (எலக்ட்ரான்) மட்டும் மின்னோட்டத்தில்-செயலில் பங்குபெறுகிறது. எனவேதான் இந்தப் புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர் 'ஒருமுனை டிரான்சிஸ்டர் (Unipolar Transistor) என்றும், வழக்கமான டிரான்சிஸ்டர் 'இருமுனை டிரான்சிஸ்டர்' (Bi-polar Transistor) என்றும் கூறப்படுகின்றன.

3. புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர்களில் இரைச்சல் மட்டம் (noise level) குறைவாக இருக்கும். வழக்கமான டிரான்சிஸ்டர்களில் மிகுதியாக இருக்கும்.

4. கடக்கும் நேரத்தால் தோன்றும் விளைவுகள் புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரில் மிகமிகக் குறைவாக தள்ளிவிடத்தக்க அளவில்தாம் இருக்கும். ஏனெனில் மற்ற டிரான்சிஸ்டர்களைப்போல் மின்னூட்ட ஊர்தி உமிழ்வாயிலிருந்து ஏற்புவாய்க்கு அடிவாய்ப்பகுதியைக்கடந்துசெல்லவேண்டியதில்லை,

எனவே, உள்ளீட்டு மின்னழுத்தம் மாறியவுடனேயே காலம் தாழ்த்தாமல் உடனே வடிகால் மின்னோட்டம் அதற்கேற்றாற்போல் மாறிவிடும்.

ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்பு வளைகோடுகள் ஒரு பென்டோடு வெற்றிட வால்வின் சிறப்பியல்பு வளைகோடுகளை ஒத்திருக்கிறது என்று கண்டோம். எனவே, இந்த டிரான்சிஸ்டர் ஒரு பென்டோடுபோலச் செயற்படும். இதை ஒரு பெருக்கியாகப் பயன்படுத்தலாம்.

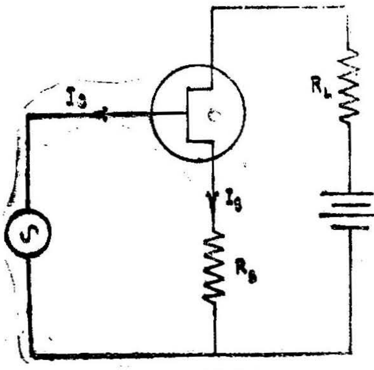
வடிகால், எலக்ட்ரான்மூலம் இவற்றிடையேயுள்ள மின்னழுத்தம்-V_D ஒரு குறிப்பிட்ட அளவில் மாறாது வைக்கப்படுகிறது. நுழைவாயிலுக்குக் கொடுக்கப்படும் எதிர் மின்னழுத்தம் V_g-யுடன்கூடவே ஒரு சிறிய a.c சைகை தொடராகக் கொடுக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இப்போது நுழைவாயிலுக்குக் கொடுக்கப்படும் மொத்த மின்னழுத்தம் தொடர்ந்து மாறிக்கொண்டேயிருக்கும். சைகை எதிர்க்குறி கொண்டிருக்கும்போது மொத்த மின்னழுத்தம் மேலும் ($-V_g$-ஐவிட அதிகமாக) எதிர்க்குறியுடையதாக மாறி வடிகால் மின்னோட்டத்தைக் குறைத்துவிடும். சைகை நேர்க்குறி கொண்டிருக்கும்போது மொத்த மின்னழுத்தம் $-V_g$-ஐவிடக் குறைந்துவிடும். இதனால் வடிகால் மின்னோட்டம் பெருகும். இவ்வாறாக உள்ளீட்டுச் சைகையானது வடிகால் மின்னோட்டத்தில் அதற்கேற்றவாறு மாறுபாட்டைத் தோற்றுவிக்கிறது. சைகையில் மாறுபாடு மிகச் சிறியதாக இருந்தாலும் வடிகால் மின்னோட்டத்தில் பெருமளவு மாற்றம் தோன்றிவிடும். இதன் அடிப்படையில்தான் ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர் ஒரு பெருக்கியாகச் செயற்படும்படி பயன்படுத்தப்படுகிறது.

புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்புகள் பென்டோடு வால்வின் சிறப்பியல்புகளை ஒத்திருப்பதால் இதன் உள்ளீட்டு மின்மறுப்பும், வெளியீட்டு மின்மறுப்பும் மிகுதியாக இருக்கும்.

ஒரு p-வகை, கால்வாயைக் (p-type channel) கொண்டுள்ள ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரையும் தோற்றுவிக்க முடியும். இதில் p-வகை, குறைகடத்திக்கட்டை வடிவில் நடுவில் வைக்கப்பட்டு n-வகைப் பொருளால் நுழைவாயில் சந்திகள் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. மின்கலங்களை, இதில் மின்வாய்களை மாற்றி இணைக்கவேண்டும். இதில் தோன்றும் வடிகால் மின்னோட்டம் துளைகளினால் ஆனது.

புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரில் எலக்ட்ரான் மூலத்தையும் வடிகாலையும் ஒன்றுக்கொன்று இடம் மாற்றலாம். வழக்கமான டிரான்சிஸ்டரில் ஏற்புவாயையும் உமிழ்வாயையும் இவ்வாறு மாற்ற முடியாது.

படம் 13.27-ல் புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர் பயன்படுத்தப் பட்டுள்ள ஓர் எளிய பெருக்கியின் சுற்றுப்படம் காண்பிக்கப் பட்டிருக்கிறது. இதில் V_g, V_D ஆகிய இரு மின்கலன்களைப் பயன்படுத்தாமல் ஒரேஒரு மின்கல அடுக்கைப் பயன்படுத்தி நுழைவாயிலுக்கும் எலக்ட்ரான் மூலத்திற்கும் மின்னழுத்தங்கள் கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன.



படம் 13.27
புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர் பயன்படுத்தப் பட்டுள்ள எளிய பெருக்கியின் சுற்றுப் படம்

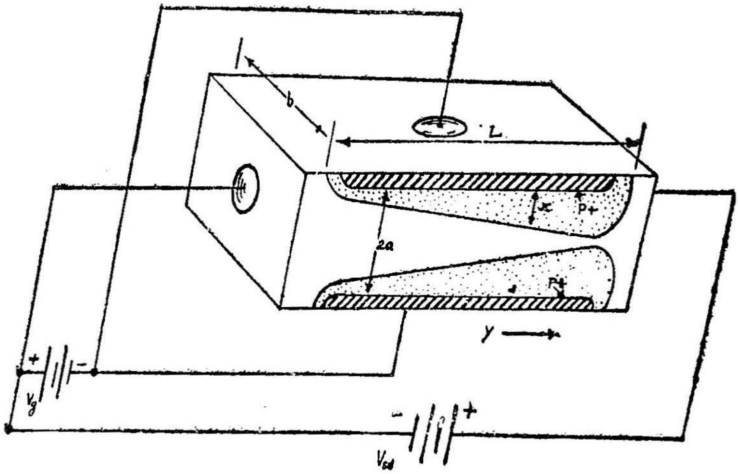
R_S என்பது எலக்ட்ரான் மூலத்திற்கு இணைக்கப்பட்டுள்ள மின்தடை. இது எலக்ட்ரான் மூலத்திற்குக் கொடுக்கப்படும் மின்னழுத்தத்தைத் தீர்மானிக்கிறது. R_L - என்பது பளுத்தடை (Load resistance) ஆகும். இதிலிருந்து வெளியீட்டு மின்னழுத்தம் (out-put voltage)எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. சிறிய a.c. சைகை நுழைவாயிலுக்கும், R_S மின்தடைக்கும் இடையே கொடுக்கப்படுகிறது.

புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரின் கணக்கியல் பகுப்பாய்வு

ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரில் நுழைவாயிலானது ஒரு ட்ரையோடு வெற்றிட வால்வின் 'கிரிட்'டைப்போல் செயற்படுவதாக விளக்கப்பட்டது. எனவே, இது மிகுந்த உள்ளீட்டு மின்தடையைக் (in-put resistance) கொண்டிருக்கும். இதில் வடிகால் மின்வாயும், எலக்ட்ரான் மூலமின்வாயும் ஒன்றுக்கொன்று மாற்றத்தக்கவை. மேலும், கால்வாய்ப்பகுதியில் ஓடும் மின்னோட்டம், பெரும்பான்மை ஊர்திகளால் மட்டுமே நடைபெறுகிறது. மிகுதியான சிறுபான்மை ஊர்திகள் வாய்க்கால் பகுதியில் உட்புகுத்தப்படுவதில்லை. இந்த டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்பு, இதன் செயற்பாடு சுற்றுப்புற வெப்பநிலையால் மாறுபடுவதில்லை என்பதாகும்.

நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலம் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் அங்கங்கேயுள்ள மின்னழுத்தத்தால் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. எலக்ட்ரான் மூலத்தின் அருகில் அடுக்கின் அகலம் மிகக் குறைந்து கால்வாய்ப் பகுதி அகன்று இருக்கக் காணலாம். வடிகால் நோக்கிச் செல்லச்செல்ல நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலம் அதிகரிக்க, கால்வாய் குறுகிக்கொண்டே செல்கிறது. வடி காலின் அருகில் அடுக்கின் அகலம் பெருமதிப்பாய் இருக்க, வாய்க்கால்பகுதி மிகக் குறுகியதாக இருக்கிறது. V_D மின்னழுத் தத்தை அதிகரிக்க இது மேலும் குறுகிவிடக் காணலாம். இது தொடர்ந்தால் ஒரு நிலையில் 'நெருக்கித் தவிர்க்கும் நிலை' ஏற்படும் எனக் கண்டோம்.

இந்நிலையில் வடிகால் மின்னோட்டத்திற்கும் மின்னழுத்தத் திற்கும் உள்ள தொலைவு நேர்பாங்காக அமையாது. இருபக்கங் களிலும் உள்ள நெருக்கம் குறைந்த அடுக்குகள் ஒன்றையொன்று தொட்டு நெருக்கித்தவிர்க்கும்நிலை ஏற்பட வடிகால் மின்னோட் டம் தெவிட்டு நிலையை அடைகிறது.



படம் 13.28
புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர் மின்னழுத்தங்களும் அதனுல் தோன்றும் கால்வாய்ப் பகுதியும்

ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டருக்குக்கொடுக்கப்பட்டுள்ள மின் னழுத்தங்களும் அதனுல் தோன்றியுள்ள கால்வாய்ப்பகுதியும் படம் 13.28-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன.

டிரான்சிஸ்டரின் உள்ளே ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலம் x என்று கொள்வோம். இதற்கான கோவையை வேருெரு தலைப்பில் கணக்கிட்டிருக்கிறேம்.

$$X = \sqrt{\frac{2\,\varepsilon\,V_j\,(N_A + N_D)}{q\,N_A.\,N_D}} \quad \text{... (13.18)}$$

இங்குள்ள P-N சந்தியில் n-பகுதி குறைந்த கலப்புடையதாக இருப்பதால், N_D, N_A-யுடன் ஒப்பிடப்படும்போது மிகமிகக் குறைவாக இருக்கும். எனவே, இதை (N_A+N_D) பகுதியில் விட்டுவிட,

$$X = \sqrt{\frac{2\,\varepsilon\,V_j}{q\,N_D}} \quad \text{... (13.19)}$$

V_j-என்பது சந்தியின் குறுக்கேயுள்ள திருப்பிய மின்னழுத்தம் ஆகும். இது கால்வாய் வழியே செல்லச்செல்ல மாறுபடும். கால்வாயில் எலக்ட்ரான் மூலத்திலிருந்து y, $(y+dy)$ தொலைவுகளில் இரு புள்ளிகளை எடுத்துக்கொள்வோம். இந்த இரு புள்ளிகளுக்கும் இடையேயுள்ள மின்தடை dR எனக் கொண்டால்,

$$dR = \frac{\rho\,dy}{(2a - 2x)b} = \frac{\rho}{2b\,(a-x)}.dy \quad \text{... (13.20)}$$

கால்வாயின் மொத்த மின்தடையைக் கணக்கிட இந்தச் சமன்பாட்டைத் தொகைப்படுத்த வேண்டும். ஆனுல் கால்வாயின் வழியே செல்லும்போது Xஎவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பது தெரியாது. நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலம் X, y-ன் சார்பு என்பது மட்டுமே தெரியும்.

$$X = f(y).$$

எனவே, X-ன் ஒரு வகைச் சமன்பாட்டைப் பெறுவோம். கால்வாயின் வழியே எந்த ஒரு புள்ளியிலும் (y-யில்) திருப்பிய மின்னழுத்தம்,

$$V_j = V_g + I_g \cdot R_y \quad \text{... (13·21)}$$

V_g-என்பது நுழைவாயில் பயாசு. R_y என்பது y புள்ளிக்கும் எலக்ட்ரான் மூலத்திற்கும் உள்ள மின்தடை ஆகும். $\frac{dR}{dy}$-ன் மதிப்பு சமன்பாடு 13.20-லிருந்து தெரியும். இதைப் பதிலீடு செய்ய,

$$V_j = V_g + I_s \cdot \frac{\rho}{2b} \int_0^y \frac{dy}{(a-x)} \quad \ldots (13.22)$$

மின்தடை எண் $\rho = \dfrac{1}{q\,\mu_n\,N_D}$ எனத் தெரியும். மேலும், சமன்பாடு 13.19-லிருந்து,

$$X = \left[\frac{2\,\varepsilon\,V_j}{q\,N_D}\right]^{\frac{1}{2}} \quad \ldots (13.23)$$

எனவே, இவற்றைப் பதிலீடு செய்ய,

$$\frac{x^2\,q\,N_D}{2\varepsilon} = V_g + \frac{I_s}{2b\,q\,\mu_n\,N_D} \int_0^y \frac{dy}{(a-x)} \quad \ldots (13.24)$$

இதை வகைப்படுத்த, X-ன் ஒரு வகைச் சமன்பாடு கிடைக்கும்.

$$\frac{2\,x \cdot q \cdot N_D}{2\varepsilon} \cdot \frac{dx}{dy} = \frac{I_s}{2b\,q\,\mu_n\,N_D} \cdot \frac{1}{(a-x)} \quad \ldots (13.25)$$

$$\therefore \quad (a-x)\,\frac{dx}{dy} = \frac{I_s \cdot \varepsilon}{2b\,q^2\,\mu_n\,N_D^2} \quad \ldots (13.26)$$

இந்த வகைச் சமன்பாடு, நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலம் கால்வாயின் நீளத்தோடு எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதைத் தருகிறது. கால்வாயின் மொத்த நீளம் L என்று கொண்டால், இந்தச் சமன்பாட்டைக் கீழ்க்காணுமாறு எழுதலாம்.

$$\int_0^L (ax - x^2)\,dx = \frac{I_s\,\varepsilon}{2b\,q^2\,\mu_n\,N_D^3} \int_0^L dy. \quad \ldots (13.27)$$

$$\therefore \frac{a}{2}(x_L^2 - x_o^2) - \frac{1}{3}(x^{L3} - x_o^3) = \frac{I_s\,\varepsilon\,L}{2b\,q^2\,\mu_n\,N_D^2}$$

$$\therefore I_s = \frac{2b\,q^2\,\mu_n\,N_D^2}{\varepsilon\,L}\left[\frac{a}{2}(x_L^2 - x_o^2) - \frac{1}{3}(x_L^3 - x_o^3)\right]. \quad \ldots (13.28)$$

இதிலிருந்து மின்னழுத்த மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புக் கோட்டை நேரடியாகப் பெறலாம்.

X_L- என்பது வடிகால் பகுதியில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலத்தைக் குறிக்கிறது.

X_0-என்பது எலக்ட்ரான் மூலத்தில் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் அகலத்தைக் குறிக்கிறது.

X_L-ன் மதிப்பு சந்தியிலுள்ள திருப்பு மின்னழுத்தம் V_j ஆல் ($V_j = V_s + V_g$) தீர்மானிக்கப்படும். இதேபோன்று X_0 ஆனது V_gஆல் மட்டுமே தீர்மானிக்கப்படும். சமன்பாடு 13·19-லிருந்து,

$$X_0^2 = \frac{2\varepsilon V_j}{q N_D}$$

எனவே, $$X_L^2 = \frac{2\varepsilon(V_s + V_g)}{q N_D}$$

இவற்றை மின்னோட்டம் I_s-க்கான கோவையில் பதிலீடு செய்ய,

$$I_s = \frac{2b\,q^2 \mu_n N_D^2}{\varepsilon L}\left[\left(\frac{a}{2}\cdot\frac{2\varepsilon V_s}{q N_D}\right) - \left\{\frac{1}{3}\,\frac{2\varepsilon(V_g + V_s)}{q N_D}\right\}^{\frac{3}{2}} + \left\{\frac{1}{3}\,\frac{2\varepsilon V_g}{q N_D}\right\}^{\frac{3}{2}}\right] \quad \ldots (13.29)$$

இந்தத் தொடர்பானது மின்னழுத்த—மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பை விவரிக்கிறது. இதை மேலும் எளிதாக்க V_p-என்ற ஒரு மின்னழுத்தத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். இது நெருக்கித் தவிர்க்கும்நிலையில் உள்ள மின்னழுத்தம். எனவே, இதை 'நெருக்கித் தவிர்க்கும் மின்னழுத்தம்' (pinch off voltage) என்று கூறலாம் இந்த மின்னழுத்தம் V_p-ஐக் கணக்கிட நுழைவாயில் மின்னழுத்தம் V_g மட்டுமே கால்வாய் முழுவதும் நெருக்கம் குறைந்த பகுதி பரவியிருக்குமாறுச் செய்துவிடுகிறது என்று கொள்வோம். இந்நிலையில் $I_s = 0$ ஆகும்.

இரு பக்கங்களிலுமிருந்து நெருக்கம் குறைந்த அடுக்குகள் தொடும்போது அவற்றின் அகலம்-a எனக் கொண்டால்,

$$a = \sqrt{\frac{2\varepsilon V_p}{q N_D}} \quad \ldots (13\cdot 30)$$

$$V_p = \frac{a^2 q N_D}{2\varepsilon} \qquad \text{... (13.31)}$$

இதை மின்னோட்டத்திற்கான கோவையில் பதிலீடு செய்ய,

$$I_s = \frac{2ab \mu_n q N_D}{L} . V_s \left[1 - \frac{q N_D}{3 V_s \varepsilon} \left\{ \frac{2\varepsilon (V_g + V_s)}{q N_D} \right\}^{\frac{3}{2}} + \frac{qN_D}{3 V_s \varepsilon} \left\{ \frac{2\varepsilon V_g}{q N_D} \right\}^{\frac{3}{2}} \right] \qquad \text{... (13,32)}$$

$$I_s = \frac{2abq \mu_n N_D}{L} V_s \left[1 - \frac{2a^2 q N_D}{3 V_s . 2\varepsilon} \left\{ \frac{2\varepsilon (V_g + V_s)}{a^2 q N_D} \right\}^{\frac{3}{2}} + \frac{1}{3 V_s} . \frac{2a^2 q N_D}{2\varepsilon} \left\{ \frac{2\varepsilon (V_g)}{a^2 q N_D} \right\}^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$= \frac{2ab q \mu_n N_D}{L} . V_s \left[1 - \frac{2}{3} \frac{V_p}{V_s} \left(\frac{V_g + V_s}{V_p} \right)^{\frac{3}{2}} + \frac{2}{3} \frac{V_p}{V_s} \left(\frac{V_g}{V_p} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \qquad \text{... (13,33)}$$

மின்னழுத்த மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புக் கோடுகளின் விளக்கத்தை இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து விரிவாகத் தெரிந்துகொள்ளலாம். ஒரு குறிப்பிட்ட வகையாக, நுழைவாயில் நில இணைப்பு (grounded gate) பெறுவதாகக் கொள்வோம். இப்போது $V_g = 0$ ஆகிவிடும். எனவே,

$$I_s = \frac{2abq \mu_n N_D}{L} . V_s \left[1 - \frac{2}{3} \left(\frac{V_p}{V_s} \right) \left(\frac{V_s}{V_p} \right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

$$= \frac{2ab q \mu_n N_D}{L} . V_s \left[1 - \frac{2}{3} \sqrt{\left(\frac{V_s}{V_p} \right)} \right] \qquad \text{... (13.34)}$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து, மின்னோட்டம்-I_s தெவிட்டிய நிலையை அடையும் என்பது தெளிவாகத் தெரிகிறது. $V_s = V_p$ ஆக இருக்கும்போது, I_s- தெவிட்டிய மின்னோட்டமாக இருக்கும்.

$V_p = V_s + V_g$ என்ற சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி, ஒரு புல விளைவு டிரான்சிஸ்டரில் தெவிட்டிய மின்னோட்டத்திற்கான

கோவையைப் பெறலாம். அதாவது நுழைவாயில் மின்னழுத்தமும், வடிகால் மின்னழுத்தமும் ஒன்றுசேர்ந்து வடிகால் அருகில் கால்வாயை நெருக்கி மூடிவிடுவதாகக் கொண்டால், இந்நிலையில் தோன்றும் மின்னோட்டம் தெவிட்டியதாக இருக்கும். இந்த நெருக்கித் தவிர்க்கும் நிலையில், தெவிட்டிய மின்னோட்டத்தைக் கணக்கிடச் சமன்பாடு 13·33-ல் $V_g = V_p - V_g$ என்று பதிலீடு செய்யவேண்டும்.

$$I_g = \frac{2abq\,\mu_n N_D}{L}\left[(V_p - V_g) - \frac{2}{3}\;V_p + \frac{2}{3}\,V_p\left(\frac{V_g}{V_p}\right)^{\frac{3}{2}}\right]$$

$$= \frac{2abq\,\mu_n N_D}{L}\,V_p\left[1 - \frac{3\,V_g}{V_p} + 2.\left(\frac{V_g}{V_p}\right)^{\frac{3}{2}}\right] \quad \ldots (A)$$

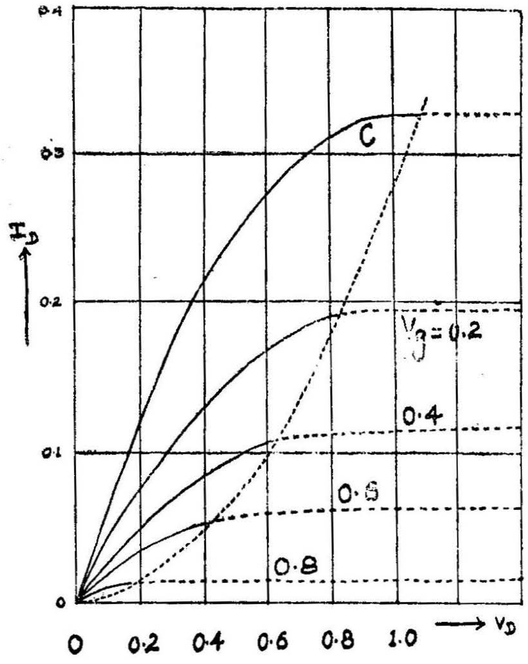
நுழைவாயில் மின்னழுத்தமானது நெருக்கித் தவிர்க்கும் மின்னழுத்தம் V_p-க்குச் சமமாகும்போது n-வகைக் குறைகடத்திக் கட்டைப்பகுதி முழுவதும் நெருக்கம் குறைந்த அடுக்குப் பரவி அடைத்துவிடும். எனவே, நகரும் ஊர்திகளே இப்பகுதியில் இரா. இந்நிலையில் எலக்ட்ரான் மூலத்திற்கும் வடிகாலுக்கும் இடையே எவ்வளவு மின்னழுத்தத்தைக் கொடுத்தாலும், மின்னோட்டம் ஓடாது. V_g-ன் மதிப்புக் குறைவாக இருக்கும் போது தெவிட்டிய மின்னோட்டத்தின் அளவை அது தீர்மானிக்கிறது.

ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரைப் பயன்படுத்தும்போது வடிகால் மின்னோட்டம் I_g, நுழைவாயில் மின்னழுத்தத்தோடு எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதை அறிந்துகொள்வது முக்கியமானது ஆகும். இந்தச் சார்பை எவ்வாறு பொறுத்திருக்கிறது என்பதை g_m என்ற பராமீட்டரால் அளந்தறியலாம். இந்தப் பராமீட்டர் g_m ‘குறுக்குக் கடத்துகை’ (Transconductance) என்று சொல்லப்படுகிறது. இந்தக் குறுக்குக் கடத்துகையானது வடிகால் மின்னழுத்தத்துடன் மாறுபடும். ஆனால், தெவிட்டிய மின்னோட்டமுள்ள பகுதியில்தான் நாம் கருத்துக்கொண்டுள்ளோம். அதாவது, தெவிட்டிய மின்னோட்டத்தின் அளவானது நுழைவாயில் மின்னழுத்தத்தோடு எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதை அறிந்துகொள்ளவேண்டும். இதற்காகச் சமன்பாடு A-ஐ வகைப்படுத்தினால் g_m-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடலாம்.

$$g_m = \left(\frac{\partial I_s}{\partial V_g}\right)_{V_s} = \frac{2ab\, q\, \mu_n N_D}{L}\left(\sqrt{\frac{V_g}{V_D}} - 1\right) \quad \ldots (13.35)$$

இந்தக் குறுக்குக் கடத்துகையானது ஒரு மாறிலி அன்று. இது V_g-ன் மதிப்போடு மாறுபாடு அடைகிறது நுழைவாயில் மின்னழுத்தம் அதிகரிக்கும்போது இது குறைகிறது. இந்த நுழைவாயில் மின்னழுத்தம் மிகமிகக் குறைவாக இருக்கும்போது குறுக்குக் கடத்துகை பெருமதிப்பாய் இருக்கும்.

$$g_m\,(\text{பெருமதிப்பான}) = \frac{2abq\, \mu_n N_D}{L} = g_0 \quad \ldots (13.36)$$

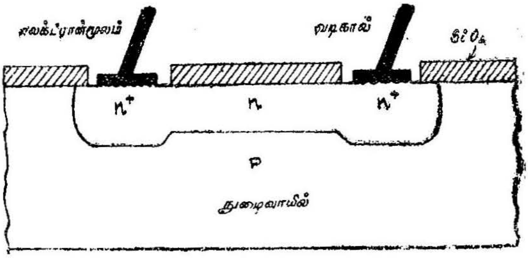


படம் 13.29

புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர் மின்னழுத்த மின்னோட்டச் சிறப்பியல்புகள்

இதிலிருந்து பெருமதிப்பான குறுக்குக் கடத்துகை 'திறந்த கால்வாய்' (open channel) கடத்துகைக்குச் சமமாக இருக்கிறது என்று தெரிகிறது.

மின்னழுத்த மின்னோட்டச் சிறப்பியல்பு வளைகோடுகள் படம் 13·29-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. நெருக்கித் தவிர்க்கும் பகுதியில் மட்டும் இந்த முடிவுகள் சரியானதாக இல்லை. ஏனெனில், நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கின் எல்லையானது மின்னழுத்தத்தின் இருமடி மூலத்தோடு மாறுபடுவதில்லை. நெருக்கித் தவிர்க்கும் பகுதியில் உண்மையில் என்ன நடக்கிறது என்று பார்ப்போம். முதன்முதலில் வடிகாலுக்கு அருகேயுள்ள பகுதிதான் V_S அதிகரிக்கப்படும்போது நெருக்கப்படும். வடிகாலை ஒட்டி, இந்நிலை தோன்றியவுடன் மின்னோட்டம் நின்றுவிடும். உடனே, நெருக்கிய பகுதிக்குக் குறுக்காக V_S மின்னழுத்தமானது ஒரு வலிமையான மின்புலத்தைத் தோற்றுவிக்கும். இந்த வலிமையான மின்புலம் மூடியுள்ள கால்வாய்ப் பகுதியை மீண்டும் திறக்கும்படி செய்துவிடும். எனவே, மீண்டும் மின்னோட்டம் உட்செலுத்தப்படுகிறது. உண்மையில் நடப்பது என்னவென்றால், வடிகால் மின்



படம் 13.30
தள அமைப்புமுறையில் தயாரிக்கப்பட்ட புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர்

னழுத்தம் மிகுதியாக்கப்படும்போது மின்னோட்டம் குறைவதில்லை இந்த மின்னோட்டமானது தொடர்ந்து மிகுதியாகிக் கொண்டுதான் இருக்கும். ஆனால் இப்படி மிகுதியாவது மிகமிக மெதுவாக நடைபெறும். இறுதியில் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு வெளியீட்டு மின்தடை இருக்கும்.

நடைமுறையில் புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர்கள் ஒரே ஒரு சந்தியுடன்தான் தயாரிக்கப்படுகின்றன. படம் 13.30-ல் அவ்வாறு தயாரிக்கப்பட்ட—தள அமைப்புமுறையில் தயாரிக்கப்பட்ட—புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர் ஒன்று காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இங்கு மிகுந்துள்ள p வகைக் கட்டிப்பகுதி (bulk) நுழைவாயிலாகச் செயற்படும். நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு மேற்பரப்பு நோக்கி விரிந்து செல்லும். இந்த அமைப்பில் மின்னோட்டம் எவ்வாறு இருக்கும் என்று கணக்கிட, முன்பு விவரிக்கப்பட்ட டிரான்சிஸ்டர்

இரு பாதியாகப் பிரிக்கப்படுவதாகக் கொள்ளலாம். இப்போது கால்வாயின் அகலம் a ஆக இருக்கும். இதன் விளைவாக வடிகால் மின்னோட்டம் பாதியளவுதான் இருக்கும். நெருக்கித் தவிர்க்கும் மின்னழுத்தம் V_p-ன் அளவு மட்டும் மாறுது.

$$V_p = \frac{q N_D a^2}{2\varepsilon} \qquad \dots (13.37)$$

தெவிட்டிய மின்னோட்டம்,

$$I_s = \frac{ab\, q\, \mu_n N_D}{3L} \cdot V_p \left[1 - 3\frac{V_g}{V_p} + 2\left(\frac{V_g}{V_p}\right)^{\frac{3}{2}}\right] \qquad \dots (13.38)$$

பெருமதிப்பான குறுக்குக் கடத்துகை,

$$g_m = \frac{abq\, \mu_n N_D}{L} = g_0 \qquad \dots (13.39)$$

உருவ மாறுபாடும், அமைப்பு வேறுபாடும் இருந்தாலும்கூட குறுக்குக் கடத்துகையின் பெருமதிப்பு கால்வாயின் மொத்தக் கடத்துகைக்குச் சமமாக இருக்கக் காணலாம்.

குறைகடத்தி லேசர்கள்
(Semiconductor Lasers)

அறிமுகம்

லேசர் என்பது விரைந்து வளரும் அறிவியல் துறையில் அண்மைக்காலத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட வியத்தகு சாதனைகளில் ஒன்றாகும். 'தூண்டப்பட்ட கதிர்வீச்சு உமிழ்வால் ஒளிப்பெருக்கம்' எனப் பொருள் கொடுக்கக்கூடிய Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation என்பதன் குறுகிய வடிவமே LASER எனக் கூறப்பட .

இந்த லேசர் நிகழ்ச்சி முதன்முதலில் வாயுக்களில் தோன்றும் படி செய்யப்பட்டது. பிறகு இது திடப்பொருள்களில் தோற்றுவிக்கப்பட்டது. லேசர் நிகழ்ச்சி குறைகடத்திகளில்கூடத் தோற்றுவிக்கப்படலாம் என்பதை ஐகிரெயின் (Aigrain) என்பவர் 1958ஆம் ஆண்டு கூறினார். அடுத்து இரண்டு ஆண்டுகளுக்குப்

பிறகு 1961ஆம் ஆண்டு பேசோவ் (Basov), குரோக்ளின் (Kroklin) ஆகியோர் குறைகடத்திகளில் முக்கியமாகக் கேலியம் ஆர்சினைடு P-N சந்தியில் தொகைத்தலைகீழாக்கத்தை (population inversion) தோற்றுவிக்கமுடியும் எனக் கண்டனர். இறுதியாக 1962ஆம் ஆண்டுதான் ஹால் (Hall), ஃபென்னர் (Fenner), கிங்ஸ்லே (Kingsley) ஆகியோர் குறைகடத்தி லேசரை அமைத்தனர். கேலியம் ஆர்சினைடு தவிர மற்றக் குறைகடத்திப்பொருள்களைப் பயன்படுத்தியும் லேசர் நிகழ்ச்சியைத் தோற்றுவிக்க முடியும் என்று கண்டனர்.

லேசர் நிகழ்ச்சி எவ்வாறு தோன்றுகிறது என்பதை முதலில் விளக்கலாம். உயர் ஆற்றல் நிலையிலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரான் கீழ் ஆற்றல் நிலைக்கு வருவதாகக் கொள்வோம். இந்த இரு ஆற்றல் நிலைகளுக்கிடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு கீழ்க்கண்ட ஏதாவதொருமுறையில் வெளியேறும்.

(1) ஃபோனன் ஆற்றலாக அணிக்கோவைக்குக் கொடுக்கப்படலாம்.

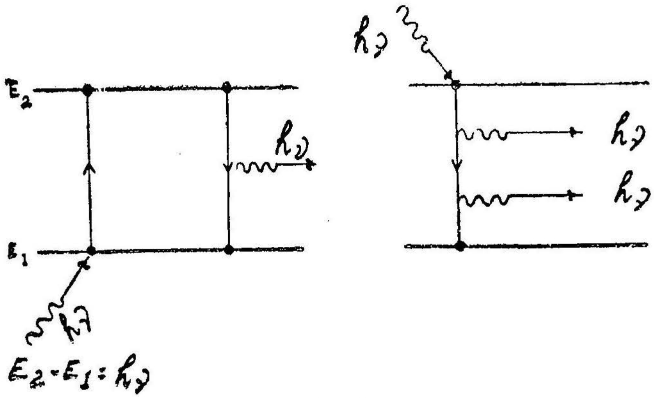
(2) வேறொரு மின் ஊர்திக்குக் கொடுக்கப்படலாம்.

(3) ஒளி ஆற்றலாகக் (ஃபோட்டான்) கதிர்வீசல் முறையில் வெளிப்படலாம்.

இம் மூன்று முறைகளில் இறுதியாகச் சொல்லப்பட்டது போல் ஆற்றல் ஃபோட்டானாக வெளிப்படும் நிகழ்ச்சியை ஏற்கெனவே விவரித்திருக்கிறோம். சரிவுச் சீர்குலைவு, சீர்குலைவில் மின்னோட்டப்பெருக்கம் ஆகியவற்றைப்பற்றி விளக்கும்போதும் எலக்ட்ரான், துளை ஆகியவை ஒன்றிடும் செயல்பற்றி விளக்கும் போதும் ஃபோட்டான் உமிழ்வுபற்றிச் சொல்லப்பட்டது. ஓர் எலக்ட்ரானும் துளையும் ஒன்றோடொன்று ஒன்றி ஆற்றல் ஃபோட்டானாக வெளிப்படுவதை 'கதிர் வீச்சு ஒன்றிப்பு' (Radiative recombination) என்று சொல்லப்படுகிறது.

குறைகடத்தியில் உள்ள ஆற்றல்பட்டை பற்றி மிக விரிவாக வேறொரு பகுதியில் விளக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு குறைகடத்தியில் லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறச்செய்ய வேண்டுமானால், முதலில் அதிலொரு தொகைத் தலைகீழாக்கம் ஏற்படும்படி செய்ய வேண்டும்.

படம் 13.31-ல் ஓர் எலக்ட்ரான் நிலைபெயர்ந்து எவ்வாறு ஃபோட்டானைத் தோற்றுவிக்கிறது என்று காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. E_1, E_2 என்பவை இரண்டு தனித்தனி ஆற்றல் மட்டங்கள் என்று கொள்வோம். E_2-வை விட E_1 குறைந்த ஆற்றல் மட்டமாகும். E_1 மட்டத்திலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரான் ஒரு ஃபோட்டானை உட்கவர்ந்து விடுவதாகக் கொள்வோம். ஃபோட்டானின் ஆற்றல்-$h\gamma$. E_2-E_1-க்குச் சமமாக இருந்தால் இந்த ஆற்றலை எடுத்துக்கொண்ட எலக்ட்ரான் E_1 மட்டத்திலிருந்து E_2மட்டத்திற்கு உயர்ந்துவிடும். மேல்மட்டத்திற்குச் சென்ற எலக்ட்ரான் அங்கேயே இருப்பதில்லை. உடனடியாக அது E_1 மட்டத்திற்குத் தாவும், அவ்வாறு தாவும்போது இருமட்டங்களுக்கும் இடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு E_2-E_1 ஒளியாக உமிழப்படும். இந் நிகழ்ச்சி படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 13.31
லேசர் நிகழ்ச்சி தோன்றும் முறை

வலப்புறத்திலுள்ள படத்தில் ஓர் எலக்ட்ரான் தொடக்கத்திலேயே E_2 மட்டத்தில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இதன்மீது $h\gamma$-ஆற்றல்கொண்ட ஒரு ஃபோட்டான் மோதுகிறது. இந்த ஆற்றலை உட்கொண்ட எலக்ட்ரான் கீழ் ஆற்றல் மட்டத்திற்கு (E_1) தாவும்படி தூண்டப்படுகிறது. இப்படித் தூண்டப்பட்ட எலக்ட்ரான் E_1 மட்டத்திற்குத் தாவினுல் இரண்டு ஃபோட்டன்கள் வெளியே உமிழப்படும். ஒன்று உட்கவரப்பட்ட ஃபோட்டான்; மற்றது இரு நிலைகளுக்கிடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு. இந்த நிகழ்ச்சியைத்தான் 'தூண்டப்பட்ட உமிழ்வு' என்கிறோம். மேலோட்டமாகப் பார்க்கும்போது ஒரு ஃபோட்டான் மோதி (ஒளியாற்றல்) இரண்டு ஃபோட்டான்களைத்

(இருமடங்கு ஒளியாற்றலை) தோற்றுவிப்பதாகத் தோன்றும். எனவேதான் இதனை 'ஒளிப்பெருக்கம்' (Light amplification) என்கிறோம்.

இந்தத் தூண்டப்பட்ட ஃபோட்டான் உமிழ்வானது 1916ஆம் ஆண்டிலேயே அறிவியல் மேதை ஐன்ஸ்டீனால் குவான்டம் இயக்கவியல் அடிப்படையில் முன்னறிந்து சொல்லப்பட்டது.

இவ்வாறாக ஃபோட்டான் உமிழ்வு தோன்றுவதற்கு எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் மாறுபாடுகளே காரணம் எனத் தெரிகிறது. இந்த எலக்ட்ரான்கள் போல்ட்ஸ்மென் புள்ளித்தொகுப்பியல் (Boltzmann Statistics) நியதிக்கு உட்பட்டவை. ஒரு ஃபோட்டான் வெளியே உமிழப்படுவதற்கான நிகழ்வாய்ப்பை (Probability) C_1 எனக் கொள்வோம். இதேபோன்று C_2I, C_3I என்பவை முறையே உட்கவரப்படுவதற்கான தூண்டப்பட்ட உமிழ்வுக்கான நிகழ்வாய்ப்புகள் எனக் கொள்ளலாம். இந்த நிகழ்வாய்ப்புகள் எல்லாமே ஒளிச்செறிவு I-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். சமநிலையில் E_1 ஆற்றல் நிலையிலிருந்து E_2 ஆற்றல் நிலைக்குச் செல்லும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் E_2 நிலையிலிருந்து E_1 நிலைக்குத் திரும்பிவரும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் சமமாக இருக்கும். இவ்வாறு ஓர் ஆற்றல் நிலையிலிருந்து மற்ற நிலைக்கு எலக்ட்ரான்கள் மாற்றப்படும் வீதமானது சமமாக இருப்பதை நிகழ்வாய்ப்புகள், ஆற்றல் மட்டங்கள் ஆகியவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொடர்பைக்கொண்டு குறிக்கலாம். இத் தொடர்பு கீழ்க்காணுமாறு அமையும்.

$$(C_1 + C_3 I)\, e^{-E_2/KT} = C_2\, I\, e^{-E_1/KT} \qquad \dots (1)$$

ஒளி செறிவுமிக்கதாக இருந்தால், C_1-ன் மதிப்பு மிகமிகக் குறைவாக ஆகிவிடும். எனவே, அதை விட்டுவிடலாம். எனவே, செறிவுமிக்க ஒளி உள்ளபோது,

$$\frac{C_3}{C_2} = e^{(E_2 - E_1)/KT} \qquad \dots (2)$$

என ஆகும். எனவே, இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து தூண்டப்பட்ட உமிழ்வுக்கான வாய்ப்பு உட்கவர்வதற்கான வாய்ப்பை விட மிகுதியாக இருக்கமுடியும் என்று தெரிகிறது. எனவே, தூண்டப்பட்ட உமிழ்வு தோன்றுவதற்கு ஒரு நிச்சயமான வாய்ப்பு இருக்கிறதென்பது தெளிவு.

ஃபோட்டான்களை ஆற்றல் கட்டுகளாக (Energy bundles) நாம் கொண்டிருப்பதால் தூண்டப்பட்ட உமிழ்வின் ஒரு முக்கிய மான பண்பைப்பற்றி இதுவரை எதுவும் சொல்லப்படவில்லை. ஃபோட்டான்களை மின்காந்த அலைகளின் சிறு கட்டுகளாகக் (packets) கொள்ளலாம். தூண்டப்பட்ட உமிழ்வில் தோன்றும் ஃபோட்டான்கள் தூண்டும் ஃபோட்டான்களைப்போலவே இருப்பதால் அவற்றின் மின்காந்தப்புலம் கூடிவிடுவதாகக் கொள்ளலாம். இரண்டு அலைவுகள் கட்டவேறுபாடின்றி (ஒரே கட்டத்தில்-Same phase) இருந்தால்தான் ஆற்றலானது மிகுதி யாக்கப்படும் என்பது தெளிவு. இது அலைத்தன்மையுடைய மின்காந்தப்புலத்திற்குப் பொருந்தும். எனவே, தூண்டும் ஃபோட்டான்கள் செல்லும் திசையிலேயே தூண்டலினல் உமிழப்பட்ட எலக்ட்ரான்களும் செல்லும் என்று தெரிகிறது.

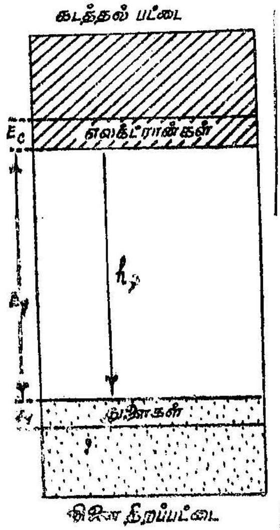
கிளர்ச்சியுற்றநிலையில் எலக்ட்ரான்களைக் கொண்டுள்ள ஓர் ஊடகத்தில் ஃபோட்டான் உமிழ்வு தூண்டப்பட்டால் அதில் ஒளி அலையின் செறிவு பன்மடங்கு பெருகிவிடுகிறது. இச் செயலே 'லேசர் நிகழ்ச்சி' எனப்படுகிறது. இந்தக் கிளர்ச்சியுற்ற எலக்ட் ரான்களைப் பயன்படுத்தி ஃபோட்டான் உமிழ்வு தூண்டப்பட்டு ஒளி அலைப் பெருக்கம் அடையும்படி செய்யப்படுகிறது.

இவ்வாறு கிளர்ச்சியுற்ற எலக்ட்ரான்களிடையே ஃபோட் டான்கள் விழும்போது அவை உட்கவரப்படாமல் தூண்டப்பட்ட உமிழ்வு தோன்றுவதற்கு உகந்த நிலையைத் தோற்றுவிப்பதுதான் இங்கு முதன்மையான செயலாகும். இதைச் செய்துவிட்டால் ஆற்றல் உட்கவரப்படாமல் ஒளிப்பெருக்கம் தோன்றிவிடும். தூண்டப்படும் உமிழ்வுக்கு உகந்த நிலையைக் கீழ்க்காணுமாறு சொல்லலாம். கிளர்ச்சியுற்ற (மேல் ஆற்றல் மட்டத்தில்) எலக்ட் ரானின் தொகையானது (population of excited electrons) கீழ் ஆற்றல் மட்டத்திலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் தொகையைவிடப் பன்மடங்கு மிகுதியாக இருத்தல் வேண்டும். இந்நிலை 'தொகைத் தலைகீழாக்கம்' (population inversion) எனப்படுகிறது. ஏனெனில், வெப்பச் சமநிலையில் பொதுவாக, கீழ் ஆற்றல் மட்டத்தில்தான் எலக்ட்ரான்களின் தொகை மிகுதியாக இருக்கும். எனவே, தொகைத் தலைகீழாக்கத்தைக் கொண்டுள்ள ஊடகமானது வெப்பச் சமநிலையிலிருந்து பெரிதும் மாறுபட்டிருக்கும் என்பது தெளிவு. ஊடகத்தை இந்நிலையில் வைப்பதற்கு வெளியிலிருந்து ஓர் ஆற்றல் மூலம் (Energy source) தேவை என்பது தெரிகிறது.

இப்போது தொகைத் தலைகீழாக்கத்தைத் தோற்றுவிப்பதற்கு எந்தெந்த வழிகளில் ஆற்றலைக் கொடுக்கமுடியும் என்பதையும், எந்தெந்தப் பொருள்களில் நேரடியான கதிர்வீச்சு ஒன்றிப்புச் செயல் நடைபெறமுடியும் என்பதையும் காண்போம். பொதுவாக மின்கடத்தாப் பொருளான மாணிக்கத்திலும் (Ruby), ஹீலியம், நியான் ஆகிய வாயுக் கலவையிலும் (gas mixture), கேலியம் ஆர்சினைடு குறைகடத்திச் சந்தியிலும் இத்தகைய லேசர் நிகழ்ச்சி தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன.

நேர்ப் பெயர்வு லேசர்

லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறவேண்டுமானால் தொகைத் தலைகீழாக்கம் தோற்றுவிக்கப்படவேண்டும். குறைகடத்தியில் இது எவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்படுகிறது என்பதைக் காண்போம். குறைகடத்திகளின் ஆற்றல்பட்டைக் கோட்பாடுகளை விளக்கும்போது தாழ்ந்த வெப்பநிலைகளில் எல்லா எலக்ட்ரான்களுமே இணைதிறப்பட்டையில் இருக்கும். கடத்தல் பட்டைக்கும் இணைதிறப் பட்டைக்கும் இடையே ஓர் ஆற்றல் இடைவெளி E_g இருக்கும். இப்போது ஒரு விரைவான மின்துடிப்போ அல்லது ஒளித்தெறிப்போ (flash of light) குறைகடத்திக்குக் கொடுக்கப்பட்டால் எலக்ட்ரான்கள் இணைதிறப் பட்டையிலிருந்து கிளர்ச்சியுற்றுக் கடத்தல்பட்டைக்குச் சென்றுவிடும். இதே நேரத்தில் இணைதிறப்பட்டையில் துளைகள் தோற்றுவிக்கப்படும். இது மிக விரைவாக எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் ஒன்றிவிட எடுத்துக்கொள்ளும் நேரத்தைவிடக் குறைந்த நேரத்தில் தோன்றிவிடும். இப்போது கடத்துப்பட்டையில் எலக்ட்ரான்களும் இணைதிறப்பட்டையில் துளைகளும் இருக்கும். இதைப் படம் 13.32 காட்டுகிறது.



படம் 13.32
தூய குறைகடத்தியில் கிளர்ச்சியுற்ற நிலையில் எலக்ட்ரான், துளை ஆற்றல் மட்டங்கள்

இந்த நிலையில் கடத்துப் பட்டையிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் இணைதிறப் பட்டையின் மேல் ஓரத்திலுள்ள காலியான நிலைகளோடு ஒப்பிடப்படும்போது ஒரு தலைகீழாக்கத்தில்

இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். கடத்தல்பட்டையிலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரான் (மிகுந்த ஆற்றல் பெற்றுள்ள) ஒரு துளை ஒன்றிட வேண்டுமானல் அது இணைதிறப்பட்டைக்குத் தாவி வர வேண்டும். இப்படித் தாவும்போது இணைதிறப்பட்டையின் மேல் ஓர நிலைக்கும், கடத்துப்பட்டையின் கீழ் ஓர நிலைக்கும் இடையேயுள்ள ஆற்றல் வேறுபாடு ஃபோட்டானக வெளியே உமிழப்பட வாய்ப்புகள் உண்டு. இந்த ஃபோட்டான் $h\nu$-ன் அளவைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

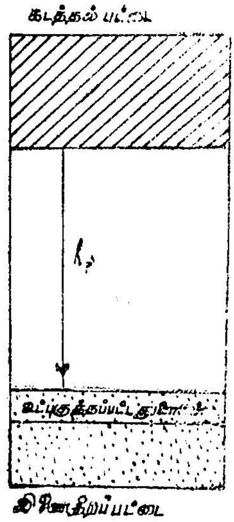
$$E_g < h\nu < E_g + E_c + E_v$$

E_g-என்பது குறைகடத்தியின் ஆற்றல் இடைவெளி.

E_c-என்பது கடத்துப்பட்டையின் கீழ் ஓர நிலைக்குரிய நிரப்பப் பட்ட ஆற்றல் மட்டம்.

E_v-என்பது இணைதிறப்பட்டையின் மேல் ஓர நிலைக்குரிய காலியான ஆற்றல் மட்டம்.

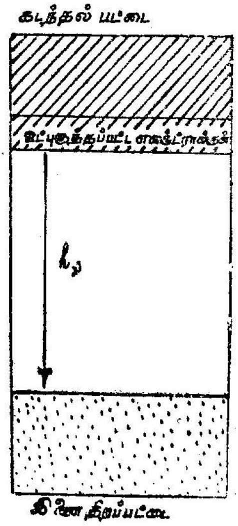
இவ்வாறன்றி ஒரு P-N சந்தியினூடே எலக்ட்ரான்களையோ அல்லது துளை களையோ உட்புகுத்துவதாலும் தொகை தலைகீழாக்கத்தைத் தோற்றுவிக்க முடியும். ஒரு P-N சந்தியின் n-பகுதியில் துளை களை உட்புகுத்தினல் (injected) அவை அங்கேயுள்ள இணைதிறப்பட்டையில் நுழைந்த காலியான எலக்ட்ரான் நிலை களைத் தோற்றுவிக்கும். இப்போது கடத்துப்பட்டையின் கீழ் ஓர நிலையி லுள்ள எலக்ட்ரான்கள் இந்தக் காலி யான எலக்ட்ரான் நிலைகளோடு ஒப்பிடப் படும்போது தலைகீழாக்கம் பெற்றவை யாக இருக்கும். கடத்துப்பட்டையி லுள்ள ஓர் எலக்ட்ரான் துளையுடன் ஒன்றிடத் தாவும்போது ஒரு ஃபோட் டான் உமிழப்படும். ஒவ்வோர் எலக்ட் ரானும் துளையுடன் ஒன்றிடும்போதும் ஒரு ஃபோட்டான் வெளிப்படும் என்பது தெளிவு. இதைப் படம் 13.33 காட்டுகிறது.



படம் 13.33
N-பகுதியில் துளைகள் உட்புகுவதால் தலை கீழாக்கம் தோன்றுதல்

இதேபோன்று *P-N* சந்தியின் *p*-பகுதியில் எலக்ட்ரான்கள் உட்புகுத்தப்படுமானால் அவை கடத்தல்பட்டையினுள் நுழையும். கடத்தல்பட்டைக்கும் ஒரு பகுதி நிரப்பப்பட்ட இணை திறப்பட்டைக்குமிடையே தொகை தலைகீழாக்கம் தோன்றுகிறது. கடத்தல்பட்டையிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் இணை திறப்பட்டையிலுள்ள துளைகளுடன் மீண்டும் ஒன்றிடும்போது ஃபோட்டான்கள் வெளியே உமிழப்படும். இது படம் 13.34-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

இந்த ஆற்றல்மட்ட விளக்கப்படங்கள் ஒரு தூய குறைகடத்திக்கு உரியவை. *P-N* சந்தியிலுள்ள *n*-வகை, *p*-வகைக் குறைகடத்திகள் தூசுகள் கலக்கப்பட்டுத் தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. தூசு கலக்கப்படும்போது மேலும் சில கூடுதலான ஆற்றல் மட்டங்கள் தோன்றும் என ஆற்றல்பட்டைக் கோட்பாட்டுத் தலைப்பில் கூறப்பட்டது. இவை கொடை மட்டம் (donor level) எனவும், ஏற்பி மட்டம் (aceptor level) எனவும் கூறப்படும். தூசு அணு கலக்கப்பட்ட குறைகடத்தியில் எலக்ட்ரான், துளை ஒன்றிப்பால் உமிழப்படும் ஃபோட்டானின் ஆற்றல், ஆற்றல் இடைவெளி E_gஐ விடக் குறைவாக இருக்கும்.



படம் 13.34
P-N சந்தியின் *P*-பகுதியில் எலக்ட்ரான் உட்புகுவதால் தலை கீழாக்கம் தோன்றுதல்

$$h\nu < E_g$$

ஏனெனில், எலக்ட்ரானனது கடத்தல் பட்டையிலிருந்து இணை திறப்பட்டைக்கு மட்டும்தான் இடப்பெயர்ச்சி பெற வேண்டும் என்பதில்லை. இவை கீழ்க் கண்ட ஏதாவதோர் இடப்பெயர்ச்சியை அடையலாம்.

1. கொடை மட்டத்திலிருந்து இணைதிறப்பட்டைக்கு இடப் பெயர்ச்சி.

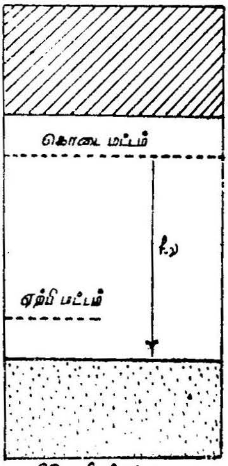
2. கடத்தல்பட்டையிலிருந்து ஏற்பி மட்டத்திற்கு இடப் பெயர்ச்சி.

3. கொடை மட்டத்திலிருந்து ஏற்பி மட்டத்திற்கு இடப்பெயர்ச்சி.

கொடை மட்டத்திலிருந்து இணை திறப்பட்டைக்கு எலக்ட்ரான் இடப் பெயர்ச்சி பெறுவதைப் படம் 13.35 காட்டுகிறது.

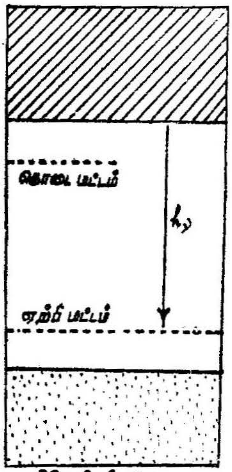
கடத்தல்பட்டையிலிருந்து ஏற்பி மட்டத்திற்கு எலக்ட்ரான் இடப் பெயர்ச்சி அடைவதைப் படம் 13.36 காட்டுகிறது.

இதேபோன்று கொடை மட்டத்தி லிருந்து ஏற்பி மட்டத்திற்கு எலக்ட்ரான் இடப்பெயர்ச்சி அடைவதைப் படம் 13.37 காட்டுகிறது.



படம் 13.35
கொடை மட்டத்திலிருந்து இணை திறப்பட்டைக்குப் பெயர்வு

கேலியம் ஆர்சினைடு குறைகடத்தி கொண்டு செய்யப்பட்ட ஆய்வுகள் இவ் இடப்பெயர்ச்சி உண்மையிலேயே நிகழ் கின்றன என்பதைக் காட்டுகின்றன. கேலியம் ஆர்சினைடு தவிரக் குறை கடத்திப் பொருள்களான கேலியம், ஆர்சனிக், பாசுபரஸ், இண்டியம் போன்ற பொருள்களின் பல்வேறு கலவை களில்—உலோகக் கலவைகளில் (alloys) லேசர் நிகழ்ச்சியைத் தோற்றுவிக்கலாம் என்று ஆய்வுகளின்மூலம் கண்டறியப் பட்டன. இக் கலவைகளைக்கொண்டு P-N சந்திகள் தயாரிக்கப்படுகின்றன. இச் சந்திகள் முன்னேக்கிய பயாசிலிருக்கும் போதுதாம் லேசர் நிகழ்ச்சி தோன்றும். லேசர் நிகழ்ச்சி தோன்றும் பல்வேறு பொருள்களும் அவற்றில் கிடைக்கும் அலை நீளங்களும் அடுத்த பக்கமுள்ள அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.



படம் 13.36
கடத்தல்பட்டையிலிருந்து ஏற்பி மட்டத்திற்குப் பெயர்வு

அட்டவணை

எண்	லேசர் பொருள்	அலை நீளம்	குறிப்பீடு
1.	கேலியம் ஆர்சினேடு	8370 Au	கொடை அணுச் செறிவு, ஏற்பி அணுச் செறிவு 10^{18}/க.செ.மீ.
2.	கேலியம் ஆர்சினேடு—கேலியம் பாசுபைடு கலவை	7100 Au	அலைநீளம் கலவையைப் பொறுத்து அமையும்.
3.	கேலியம் ஆர்சினேடு	8240 Au	செறிவு 10^{16}/க.செ.மீ.
4.	இண்டியம் பாஸ்பைடு	9030 Au அல்லது 9120 Au	—
5.	கேலியம் ஆர்சினேடு இண்டியம் கலவை	20700 Au 17700 Au	அலைநீளம் கலவையைப் பொறுத்து அமையும்.
6.	இண்டியம் ஆர்சினேடு	31,600Au அல்லது 31,200Au	காந்த முறையால் தோற்றுவிக்கப்படுவது.
7.	இண்டியம் ஆன்டிமொனேடு	51,800Au	காந்த முறையால் தோற்றுவிக்கப்படுவது.

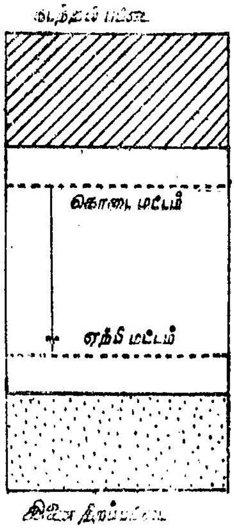
கேலியம் ஆர்சினேடு டையோடு லேசர்

P-N சந்திகளில் தொகைத் தலைகீழாக்கம் எவ்வாறு தோற்றுவிக்கப்படுகின்றது என்பதும் அதிலிருந்து ஃபோட்டான்கள் எவ்வாறு உமிழப்படுகின்றன என்பதும் விளக்கப்பட்டன. ஒரு டையோடு சந்தியில் லேசர் நிகழ்ச்சி எப்படித் தோன்றுகிறது என்பதை இங்கு விளக்குவோம்.

லேசர் நிகழ்ச்சி தோன்றும் *P-N* சந்தியைப் பொதுவாக '*P-N* சந்தி உட்புகுத்தும் லேசர்' (*P-N* junction injection laser) எனக்

கூறலாம். இந்த P-N சந்தியில் முனைப்பகுதிகள் மிகமிகத் தட்டை யாக — ஒளியியல் தட்டையாக (opticaly plane) ஒன்றுக்கொன்று இணையாக இருக்கும்படி அமைக்கப்படுகின்றன. இது ஃபேப்ரி— பெரோ (Fabry perot) தட்டைப்போன்று எதிரொளிக்கும் தன்மையுடையதாய் இருக்கும்.

ஒரு கேலியம் ஆர்சினைடு படிகம் ஒன்றை எடுத்துக்கொள் வோம். இது ஒரு வகை n-வகைக் குறைகடத்தி ஆகும். இந்தப் படிகம் மெல்லிய பாளங்களாக (Thin wafers) வெட்டப்படு கின்றது. இந்தப் பாளங்களின் புறப்பரப்பு மிகமிகத் தட்டை யாகவும் வளவளப்பாகவும் இருக்கும்படி தேய்த்து மெருகிடப்படுகிறது. இந்தப் பரப்பில் மற்றொரு p-வகைப் பொருள் ஊடுருவல் முறையில் பொருந்தும்படி அமையவேண்டும்.



படம் 13.37
கொடை மட்டத்திலிருந்து ஏற்பி மட்டத்திற்குப் பெயர்வு

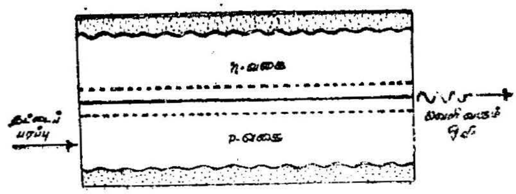
ஒரு P-வகைத் தூசு இந்த மெல்லிய பாளத்தின்மேல் வைக்கப்படுகிறது. இவை இரண்டும் ஒரு வெற்றிடக் குழ லின் உள்ளே இருத்தி 800°C வெப்ப நிலைக்குச் சூடாக்கப்படுகின்றன. இந்த வெப்பநிலையில் p-வகைத் தூசுப்பொருள் உருகி ஊடுருவல் முறையில் n-வகைப் பொருளோடு கலந்து ஒரு சந்தியை—P-N சந்தியைத் தோற்றுவிக்கும். மேற்பரப்பி லுள்ள எஞ்சிய p-வகைத் தூசுப் பொருள் தேய்த்து நீக்கப்படுகிறது. பிறகு இந்த மெல்லிய பாளத்திலிருந்து நீண்ட கம்பி கள்போன்ற பகுதிகள் வெட்டி எடுக்கப் படுகின்றன. இவை ஒளியியல் அடிப் படையில் மிகமிக உயர்ந்த தரமான அளவுக்குத் தட்டை யாகவும் ஒன்றுக்கொன்று இணையாகவுமுள்ள பிளவுறு பக்கங் களைக் கொண்டிருக்கும் (eleavage planes). இவை மிகுந்த அளவு எதிரொளிக்கும் தன்மையுடையவை. கேலியம் ஆர்சினைடின் ஒளிவிலகல் எண் மிகுதியானதாகையால் இந்த எதிரொளிக்கும் துண்டுகளின் புறத்தே பூச்சுகள் கொடுக்கப்பட வேண்டியதில்லை.

இருந்தாலும் சந்தியின் மேலும் கீழும் தட்டையான புறப் பரப்பில் மின்கடத்தாப்பொருள் ஒரு மெல்லிய அடுக்காகப் படியு மாறும், அதன்மேல் ஒரு மெல்லிய உலோக அடுக்குப் படியுமாறும்

செய்யப்படுகின்றன. இதனால் எதிரொளிப்புத்தன்மையைச் சரி செய்யமுடியும். இவ்வாறு அமைக்கப்படும் குறைகடத்தி டையோடு லேசர் ஒன்றின் படம் 13.38-ல் காண்பிக்கப் பட்டுள்ளது.

இந்த லேசர் சந்தியின் பரப்பு ஏறத்தாழ 10^{-4} ச செ. மீ.தான் இருக்கும். இதில் கொடை அணுச்செறிவு $\cdot 5 \times 10^{18}$-லிருந்து 4×10^{18} வரை இருக்கலாம். ஏற்பி அணுச்செறிவு 6×10^{18} அளவில் இருக்கும்.

இந்த P-N சந்தி முன்னேக்கிய பயாசிலிருக்கும்போதுதான் லேசர் நிகழ்ச்சி தோன்றுகிறது. இந்த முன்னேக்கிய பயாசானது அதிகரிக்கப்படும்போது இருபக்கங்களிலும் உள்ள செறிவு மிகுந்த ஊர்திகள் பெரும் எண்ணிக்கையில் சந்தியை நோக்கி ஓடும். சந்தியில் இவை ஒன்றையொன்று ஓடிவந்து மோதும்



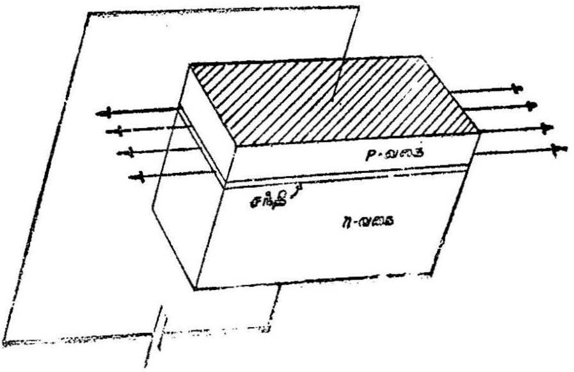
படம் 13·38
குறைகடத்தி டையோடு லேசரின் உள் அமைப்பு

போது இருவகை மின் ஊர்திகளிடையே (எலக்ட்ரான்களும், துளைகளும்) ஒன்றிடும் வாய்ப்புப் பெருமளவு மிகுந்துவிடுகிறது. இதன்விளைவாகத் தொகைத் தலைகீழாக்கம் தோன்றத் தொடங்கும்.

இப்போது முன்னேக்கிய பயாசு தொகைத்தலைகீழாக்கத்தைத் தோற்றுவிக்கப் போதுமான அளவு உள்ளதாகக் கொள்வோம். தொகைத் தலைகீழாக்கம் தோன்றியவுடன் ஊர்திகளின் ஒன்றிப்பால் உமிழப்படும் ஃபோட்டான் (ஒளி ஆற்றல்) அடுத்துள்ள எலக்ட்ரான்களும் துளைகளும் ஒன்றிடும்படி தூண்டுகிறது. இந்தத் தூண்டலினல் மேலும் ஃபோட்டான்கள் அடுத்தடுத்துத் தொடர்ந்து உமிழப்படுகின்றன. இதுதான் லேசர் நிகழ்ச்சி ஆகும். இவ்வாறு பெருக்கப்பட்டுச் சந்தி லேசரிலிருந்து உமிழப் படும் ஒளி ஒரு மெல்லிய தகடு (Sheet) போன்ற வடிவத்தில் வெளிவரும்.

ஒரு குறைகடத்தி லேசரிலிருந்து வெளிவரும் ஒளியின் அலை நீளத்தை மாணிக்க லேசரில் இருப்பது போன்றோ அல்லது வாயு லேசரில் இருப்பது போன்றோ துல்லியமாகச் சொல்லமுடியாது. கேலியம் ஆர்சினைடு லேசரில் உமிழப்படும் ஒளி 8460 ஆங்ஸ்ட்ராங் (மேற்சிவப்புப் பகுதியில்-Infrared region) அலை நீளத்தைக் கொண்டிருக்கிறது. கேலியம் ஆர்சினைடு, கேலியம் பாசுபைடு கலப்பு உலோக லேசரிலிருந்து வெளிவரும் ஒளி சிவப்பு நிறக் கதிர்களாக இருக்கக்காணலாம்.

கேலியம் ஆர்சினைடு டையோடு லேசர்கள் மிகக் குறைந்த அளவே திறன் கையாளும் திறமையைப் பெற்றிருக்கும். ஏனெனில், சந்திப்பில் தோன்றும் வெப்பமானது எளிதில் வெளியேறுவ



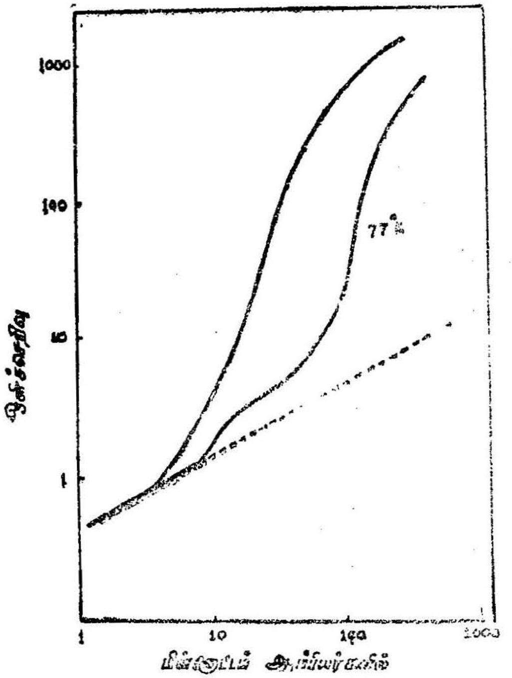
படம் 13·39
குறைகடத்தி சந்தி லேசரின் அமைப்பு விளக்கம்

தில்லை. இதற்காக இந்த லேசர் 75°K வெப்பநிலையில் திரவ நைட்ரஜனில் அமிழ்த்து வைக்கப்பட்டிருக்கும். சந்தியின் இரு பக்கங்களுக்குமிடையே ஒரு சிறிய மின்புலம் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது. இந்த மின்புலமானது சில மைக்ரோ வினாடிகள் கொண்ட மின் துடிப்புகளால் தோற்றுவிக்கப்படும்.

கேலியம் ஆர்சினைடு டையோடு லேசர்களில் பயன்தொடக்க மின்னோட்ட அடர்த்தியானது (Threshold current density) ஒரு ச.செ.மீ. க்கு 800° ஆம்பியரிலிருந்து 1000° ஆம்பியர் வரை இருக்கும். வெளிவரும் லேசர் கதிரின் அலைநீளம் 8460 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகாக இருக்கும். இதன் செறிவு மின்னோட்டத்தைப் பொறுத்து அமையும். வெளிவரும் லேசரின் செறிவுக்கும்

மின்னோட்டத்திற்குமுள்ள தொடர்பு படம் 13.40-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது.

77°K வெப்பநிலையில் லேசர் கதிர்வீச்சின் செறிவானது குறைந்த மின்னோட்டங்களில் நேர்விகிதத்தில் இருக்கக்காண லாம். ஏறத்தாழ 100° ஆம்பியர்வரை இந்த நேர்பாங்குத் தொடர்பு இருக்கும். அதற்குப் பிறகு மின்னோட்டம் சிறிது உயர்ந்தாலும் செறிவானது விரைவாக மிகுதியாகிக்கொண்டே போவதைப் படத்தில் காணலாம். லேசரின் வெப்பநிலையை 4°K-க்குக் குறைத்தால் 12 ஆம்பியர்களிலேயே பயன் தொடக்கம்



படம் 13.40

மின்னோட்டத்தோடு வெளிவரும் கதிர்வீச்சின் மாறுபாடு

அதாவது லேசர் நிகழ்ச்சி தோன்றிவிடுகிறது. இதன் பிறகு மிகுந்த மின்னோட்டங்களில் செறிவு மீண்டும் மின்னோட்டத்திற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும்.

இந்தக் கேலியம் ஆர்சினேடு சந்தி டையோடு லேசரில் குவான் டம் பயனுறுதிறன் ஏறத்தாழ 100 விழுக்காடு இருப்பதாகக்

கண்டுள்ளனர். அதாவது ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானும் சந்தியின் பக்கத்திலிருந்து ஒரு ஃபோட்டான் உமிழப்படும்படி செய்கின்றது.

கேலியம் ஆர்சினைடு லேசரில் வெளிவரும் அலைநீளங்கள் மேற் சிவப்புப் பகுதியில் இருக்குமெனக் கண்டோம். இதன் நிற மாலையைக் கீற்றணிகொண்டு ஆய்ந்ததில் வெளிவரும் கதிர்வீச்சின் செறிவுக்கும், ஃபோட்டான் ஆற்றலுக்கும் ($h\nu$) உள்ள தொடர்பு கணக்கிடப்பட்டது ஆய்வின் முடிவுகள் வரைபடமாகப் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது.

பகுதிறன்மிக்க நிறமாலைமானியைக்கொண்டு சோதனைகள் செய்ததில் பயன் தொடக்க மதிப்புக்குக் குறைந்த மின்னோட்டங்களில் 8460 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகு அலைநீளம் கொண்ட ஒரே ஒரு வரிமட்டும் காணப்பட்டது. உயர் மின்னோட்டங்களில் பல்வேறு வரிகள் கிடைக்கப்பெற்றன. இவை 20 ஆங்ஸ்ட்ராங் நெடுக்கத்துக்குள்ளேயே அமைந்திருந்தன.

பயன் தொடக்க மதிப்பைவிட மிகுதியான மின்னோட்டங்களில் செயற்படும்போது இவ்வாறு பல்வேறு வரிகள் கிடைக்காமல் இவை ஒன்றோடொன்று நெருங்கிக் கிடைக்கும். ஒரு குறிப்பிட்ட அளவில் ஒரே ஓர் அலைநீளத்தையுடைய ஒற்றை வரிமட்டும் கிடைக்கும். இந்தக் கதிர்வீச்சு மேற்சிவப்புப் பகுதியில் இருக்கும். இக் கதிர்வீச்சு முழுவதுமே ஏறத்தாழச் சந்தியின் நீளத்திலிருந்து உமிழப்படுவதாகக் கண்டறியப்பட்டது. இவ்வாறு ஒற்றை அலைநீளத்தையுடைய கதிர்வீச்சை உமிழும் பண்பினைத்தான் 'ஓரியல் பண்பு' (coherency) என்று சொல்லப்படுகிறது.

குறைகடத்தி டையோடு லேசர் மற்றத்திடப்பொருள் லேசர், வாயுலேசர் ஆகியவற்றைவிடப் பல மேம்பாடுகளைக் கொண்டது.

அவையாவன:

1. குறைகடத்தி டையோடில் தொகைத் தலைகீழாக்கத்தைத் தோற்றுவிப்பதற்கு மின்னோட்டம் செலுத்தப்படுகின்றது. செலுத்தப்படும் இந்த மின்னோட்டத்தையே பண்பேற்றம் (modulation) பெற்றதாகச் செய்துவிட்டால் வெளிவரும் லேசர் கதிரின் செறிவும் அதற்கேற்றவாறு பண்பேற்றம் பெற்றிருக்கும். மற்ற லேசர்களைப்போல இதற்காகப் பண்பேற்ற அமைப்புகளை அமைக்கத் தேவையில்லை.

2. குறைகடத்தி டையோடு லேசர் உருவத்தில் மிகச் சிறியது. மற்றவற்றைப்போல் மிகுந்த இடத்தை அடைத்துக் கொள்ளாது.

3. குறைகடத்தி டையோடு லேசர் மின்னாற்றலை நேரடியாக ஒளியாற்றலாக மாற்றுகிறது. மற்றவற்றைப்போல் ஒளித் தெறிப்பு விளக்குகளைப் பயன்படுத்துவதில்லை. எனவே, இதன் செயல்திறம் மற்றவற்றைக்காட்டிலும் மிகுந்திருக்கும்.

4. இதன் உள்ளீடு முழுவதுமே ஏறத்தாழக் கதிர்வீச்சாக வெளி வந்துவிடுகிறது. இதில் 75 விழுக்காடு ஓரியல் பண்புடையதாக இருக்கும்.

5. வெளிவரும் கதிர்வீச்சுகள் மேற்சிவப்புப் பகுதியிலோ அல்லது காணும் பகுதியிலோ (Infra red or visible region) அமைகின்றன. உள்ளே செலுத்தப்படும் மின்னோட்டத்தை மாற்றி அமைத்துத் தேவைக்கேற்றவாறு வெளிவரும் லேசரின் திறனைக் கட்டுப்படுத்தலாம்.

6. வெளிவரும் கதிர்வீச்சின் அலைநீளத்தையும் இந்தக் குறைகடத்தி லேசரில் மட்டும்தான் கட்டுப்படுத்த முடியும். குறைகடத்தியின் வேதியியல் அமைப்பினை மாற்றியோ, வெப்பநிலையை மாற்றியோ அல்லது காந்தப்புலத்தினை மாற்றியோ வெளிவரும் அலைநீளத்தினை மாற்றியமைக்க முடியும்.

எடுத்துக்காட்டாக, கேலியம் ஆர்சினைடு குறைகடத்தி டையோடு லேசரிலிருந்து வெளிவரும் கதிர்வீச்சு மேற்சிவப்புப் பகுதியிலிருக்கும். இந்தக் கேலியம் ஆர்சினைடுக்கு ஒருசிறிது கணக்கிடப்பட்ட பாஸ்பரசைக் கலந்து கேலியம் ஆர்சினைடு—கேலியம் பாஸ்பரஸ் கலப்பு உலோகக் குறைகடத்தி டையோடு லேசர் தயாரிக்கப்படுகிறது. இதிலிருந்து வெளிவரும் லேசர் கதிரின் அலைநீளம் காணும் பகுதியில் இருக்கும். இவ்வாறு வேதியியல் அமைப்பை மாற்றி அலை நீளத்தை மாற்றமுடியும்.

குறைகடத்தி டையோடு சந்தி லேசரின் ஒரே ஒரு குறை அது செயற்படும் வெப்பநிலை மிகமிகக் குறைவாக இருக்கும்படி (ஏறத்தாழ 70°K) பார்த்துக்கொள்ள வேண்டும். இந்த வெப்ப நிலைகளில்தாம் சந்தி டையோடு லேசர் திறன்மிக்கதாய்ச் செயற்படும். இவ்வளவு தாழ்ந்த வெப்பநிலைகளைத் தோற்றுவிப்பது எளிதான செயலன்று.

காந்த ஒளியியல் லேசர்கள் (Magneto optical lasers)

ஒரு குறைகடத்தியில் பல்வேறு ஆற்றல் மட்டங்கள் (கடத்தல்பட்டை, இணைதிறப்பட்டை, கொடைமட்டம், ஏற்பு

மட்டம் ஆகியவை) இருக்கக்கண்டோம். இந்தக் குறைகடத்திப் படிகத்தை ஒரு காந்தப்புலத்தில் வைத்தால் ஒவ்வோர் ஆற்றல் மட்டமும் பிளவுபட்டு மாற்றங்கள் அடைகின்றன. இவை எண்ணிக்கையில் மிகுதியாகிவிடும். இதைப்பற்றி ஆற்றல்பட்டைக் கோட்பாட்டுப் பகுதியில் விரிவாகச் சொல்லப்பட்டுள்ளது. மாறுபட்டு அமையும் ஆற்றல் மட்டங்களைப் படம் 13.41 காட்டுகிறது.

காந்தப்புலத்தின் திசைக்குச் செங்குத்தான திசையில் ஆற்றல் மட்டங்கள் தனித்த தொகுதிகளாக்கப்படுகின்றன. அதாவது குவான்டம் நிலைக்கு உட்புகுத்தப்படுகின்றன. கடத்தல்பட்டை, இணைதிறப்பட்டை ஆகியவற்றிற்கு நேரான ஆற்றல்மட்டங்களைக் குவான்டம் நிலைகளுக்கு ஒப்ப எழுதலாம்.

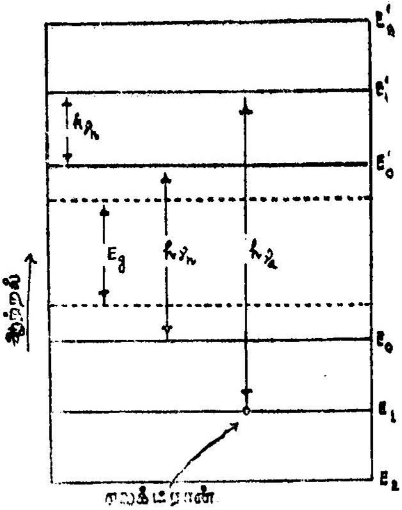
$$E_c = E_g + (n+\tfrac{1}{2})h\ v_n$$

$$E_v = \quad -(n+\tfrac{1}{2})h\ v_p$$

n-என்பது குவான்டம் எண்.

v_n, v_p-என்பவை முறையே எலக்ட்ரான், துளை ஆகியவற்றின் சைக்ளோட்ரான் அதிர்வெண்களாகும்.

இந்த அதிர்வெண்களைப் பின்வரும் சமன்பாடுகளிலிருந்து கணக்கிடலாம்.



படம் 13.41
காந்தப்புலத்தில் இருக்கும்போது குறைகடத்தியில் ஆற்றல் மட்டங்கள்

$$v_n = \frac{q H}{2\pi m_n C}$$

$$v_p = \frac{q H}{2\pi m_p C}$$

q-என்பது எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம்.

H-என்பது காந்தப்புலத்தின் வலிமை.

m_n, m_p-என்பவை முறையே எலக்ட்ரான், துளை ஆகியவற்றின் விளைவு நிறைகள் (effective masses).

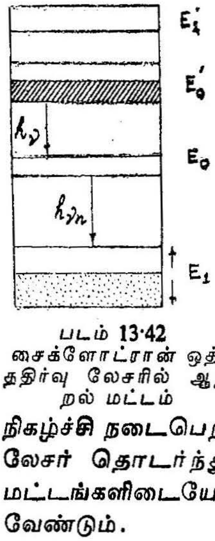
C-என்பது ஒளியின் திசை வேகம்.

காந்தப்புலம் மிகுதியாக்கப்படும்போது ஆற்றல் இடைவெளி கீழ்க்கண்ட அளவு மிகுதியாகும்.

$$\Delta E_g = \frac{1}{2} h (\nu_n + \nu_p)$$

இண்டியம் ஆண்டிமொனைடு, இண்டியம் ஆர்சினைடு போன்ற குறைகடத்திகளில் வலிவுமிக்க காந்தப்புலம் செயற்படும்போது அதன் ஆற்றல் இடைவெளி ஏறத்தாழ 10 விழுக்காடு மிகுதியாக்கப்படுகிறது. பெரும் வலிமையுடைய காந்தப்புலங்களைப் பயன்படுத்தி இதை 30 விழுக்காடுவரை அதிகரிக்கமுடியும்.

ஒளியியல் ஏற்றத்தின் அடிப்படையில் லேசர்களைத் தோற்றுவிக்க முடியும் என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இதனை 'சைக்ளோட்ரான் ஒத்திசைவு லேசர்' (cyclotron resonance laser) என்று கூறலாம். இத்தகைய லேசர்களில் E_1-ஆற்றல் பட்டையிலுள்ள (இணைதிறப்பட்டை) ஓர் எலக்ட்ரானுக்கு வலிமை மிக்க ஒளியியல் மூலத்தினால் ஆற்றல் தரப்படுகிறது. ஆற்றலைப் பெற்ற இந்த எலக்ட்ரான்கள் கிளர்ச்சியுற்று E_1' ஆற்றல் மட்டத்திற்குச் (கடத்தல் பட்டையிலுள்ள) சென்று விடுகின்றன. இதன் விளைவாக E_1', E_0' ஆகிய மட்டங்களிடையே தொகைத் தலைகீழாக்கம் தோன்றுகிறது. இந்நிலையில் சைக்ளோட்ரான் அதிர்வெண் ν_n-ல் ஓர் ஒத்திசைவு ஏற்படும்படி ஓர் அமைப்பைப் பயன்படுத்தினால் இந்த சைக்ளோட்ரான் அதிர்வெண்ணில் லேசர் நிகழ்ச்சி நடைபெறக்காணலாம். சைக்ளோட்ரான் ஒத்திசைவு லேசர் தொடர்ந்து செயற்படவேண்டுமானால் E_D^1, E_0 ஆகிய மட்டங்களிடையே எலக்ட்ரான்தாவலையும் பயன்படுத்த வேண்டும்.



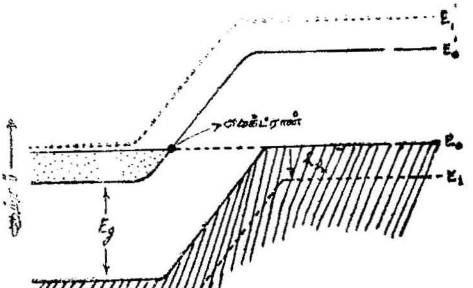
படம் 13·42
சைக்ளோட்ரான் ஒத்ததிர்வு லேசரில் ஆற்றல் மட்டம்

சைக்ளோட்ரான் ஒத்திசைவு லேசரை மின்முறையிலும் பெற முடியும். ஒரு குறைகடத்தி P-N சந்தியின் p-பகுதிக்குள் எலக்ட்ரான்கள் உட்புகுத்தப்படுவதாகக் கொள்வோம். இது கடத்தல் பட்டையில் E_0' ஆற்றல் மட்டத்தில் இருந்துகொள்ளும். இந்நிலையிலிருந்து E_0 மட்டத்திற்கு எலக்ட்ரான்கள் இடப்பெயர்ச்சி அடையும்போது E_0-மட்டத்திலுள்ள தொகை மிகுதியாகிறது. இதனால் E_0 மட்டத்திலுள்ள எண்ணிக்கை, E_1 மட்டத்திலுள்ள எண்ணிக்கையைவிட மிகுதியாகிவிடும். அதாவது E_1, E_0 மட்டங்க

ளிடையே தொகைத் தலைகீழாக்கம் தோன்றிவிடுகிறது. இப்போது v_n-அதிர்வெண்ணில் சைக்ளோட்ரான் ஒத்திசைவு இடப்பெயர்ச்சியைத் தூண்டமுடியும். எனவே, சைக்ளோட்ரான் ஒத்திசைவு லேசரைத் தோற்றுவிக்க முடியும்.

இவ்வாறு மின்முறையில் எலக்ட்ரான்களை உயர் ஆற்றல் மட்டத்திற்குச் செல்லுமாறு செய்யப்படும் செயலுக்கு 'மின்முறை ஏற்றம்' (electrical pumping) என்று பெயர்.

மின்முறை ஏற்றத்தால் லேசரைத் தோற்றுவிக்கும் முறையில் இப்போது ஒரு டன்னல் டயோடு செயற்படுத்தப்படுகிறது. டன்னல் டயோடில் p-பகுதியும் n-பகுதியும் செறிவுமிக்கதாய் இருக்கும். அதாவது தூசு அணுக்கள் மிகுந்த அளவில் கலக்கப்பட்டு ஊர்திச்செறிவுமிக்கதாய் இருக்கும். இதன்விளைவாக ஒரு குறைந்த முன்னேக்கிய பயாசில்கூட ஓர் எலக்ட்ரான் சந்தியைக் கடந்துசென்று p-பகுதியிலுள்ள துளையுடன் ஒன்றிட முடியும்.



படம் 13·43
காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட டன்னல் டயோடின் ஆற்றல் மட்டங்கள்

படம் 13·43-ல் இத்தகைய ஒரு டன்னல் டயோடின் ஆற்றல் மட்டப்படம் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. E_0-மட்டத்திலிருந்து E_1 மட்டத்திற்குச் சைக்ளோட்ரான் ஒத்திசைவு அதிர்வெண் v_n-ல் லேசர் தோன்றுவதை இது காட்டுகிறது. இந்த லேசர் மிகுந்த ஓரியல் பண்புடையதாய் இருக்கக்காணலாம்.

இங்கு E_0' மட்டத்திலிருந்து E_0 மட்டத்திற்கு எலக்ட்ரான்கள் இடப்பெயர்ச்சி அடைந்துவிடுகின்றன. E_0 மட்டத்தில் எலக்ட்

ரான்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்க (E_1—மட்டத்தோடு ஒப்பிடப் படும்போது) E_1, E_0 மட்டங்களிடையே தொகைத் தலைகீழாக்கம் தோன்றுகிறது. எனவேதான், ஒத்திசைவு அதிர்வெண்ணில் உமிழ்வு தூண்டப்பட்டு $h\nu_n$ ஆற்றலுடைய ஒரியல் கதிர்வீச்சு வெளிப்படுகிறது. இவ்வாறு குறைகடத்திகள் ஒரு பயனுள்ள லேசர் மூலமாக (laser source) செயற்படுவதைக் காணலாம்.

வினாக்கள்

1. டன்னல் விளைவு என்றால் என்ன? விளக்கி எழுது.

2. ஒரு டன்னல் டயோடின் அமைப்பு எப்படி இருக்கும்? டன்னல் டயோடின் செயல்முறை, சிறப்பியல்பு வளைகோடு வரைந்து அது செயற்படும் முறையை விளக்கு.

3. ஒரு டன்னல் டயோடின் சிறப்பியல்புகள் யாவை? டன்னல் டயோடின் மிக முக்கியமான 2 பயன்களைக் கூறு.

4. ஒரு டன்னல் டயோடின் தடைவெட்டு அதிர்வு எண், மின் னெதிர்ப்பு விட்டு அதிர்வெண் என்றால் என்ன? விளக்கி எழுது.

5. ஒரு டன்னல் டயோடு அலை இயற்றியாக எவ்வாறு பயன் படுத்தப்படுகிறது? இதன் அதிர்வு எண்ணைக் காணக் கோவையைக் கண்டுபிடி.

6. ஒரு டன்னல் டயோடு ஒரு பெருக்கியாக எவ்வாறு செயற் படுகிறது?

7. ஒரு டன்னல் டயோடு ஒரு ஸ்விட்சாகச் செயற்படும் முறையை விளக்கி எழுது.

8. ஒரு ஜெர்மேனியம் டன்னல் டயோடு 0·5 வோல்ட் முன் னோக்கிய பயாசிலிருக்கும்போது அறை வெப்பநிலையில் அதில் ஓடும் மின்னோட்டம் 5 மில்லி ஆம்பியர்கள். இதே மின் னழுத்தத்தில் 500°K வெப்பநிலையில் மின்னோட்டம் எவ் வளவு இருக்கும்?

9. ஒரு டன்னல் டயோடின் சிறப்பியல்பு வளைகோட்டின் சரிவிலிருந்து அதன் தொடர் மின்தடை கணக்கிடப்படுகிறது. இது பொருத்தமானதா? ஏன்?

10. ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரின் அமைப்பை விளக்கி எழுது.

11. ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரில் கால்வாய் மின்னோட்டம் என்றால் என்ன? இதில் நெருக்கித்தவிர்க்கும் நிலை எவ்வாறு தோன்றுகிறது?

12. ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டருக்கும், வழக்கமான டிரான்சிஸ்டருக்கும் உள்ள வேறுபாடுகள் யாவை?

13. ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரின் சிறப்பியல்பு ஒரு வெற்றிடபென்டோடு வால்வை ஒத்திருக்கிறது என்று எடுத்துக்காட்டு. இதை ஒரு பெருக்கியாக எவ்வாறு பயன்படுத்தலாம்?

14. ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரில் தோன்றும் நெவிட்டில் மின்னோட்ட அலைவிற்கான கோவையைக் கணக்கியல் முறையில் கண்டுபிடி.

15. ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரில் நெருக்கித்தவிர்க்கும் மின்னழுத்தத்தை எவ்வாறு கணக்கிடலாம்? இதைக் கொண்டு திறந்த கால்வாய் குறுக்குக் கடத்துகை எவ்வாறு கணக்கிடலாம்.

16. ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரில் கால்வாயின் நீளம் முழுவதையும் மாற்றியமைக்க முடியாதது ஏன்? மீதம் தங்கியுள்ள சிறு மின்தடை இவ் டிரான்சிஸ்டரின் பெருக்கிப்பண்பை எவ்வாறு மாற்றியமைக்கும்? ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரின் மூலம், வடிகால் ஆகியவற்றின் மின்னழுத்தங்கள் உயர் மதிப்பில் இருக்கும்போது, கால்வாயின் மின்புலம் மிகுந்திருக்கும். இப்போது, நகர்வுதிறன் மாறிலியாக இருக்காது. இந்த மாறிய நகர்வுதிறன் புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரின் செயலில் [அதிர்வு எண்ணைப் பொறுத்து] தோற்றுவிக்கும் விளைவு யாது?

17. ஒரு புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டரில் உள் மின் அழுத்தப் பெருக்கத்திற்கான கோவை ஒன்றைக் கண்டுபிடி.

18. குறைகடத்தி லேசர்கள் என்பவை யாவை? குறைகடத்திகளைக்கொண்டு லேசர்களைத் தோற்றுவிக்கும் முறைகளை விளக்கி எழுது.

19. ஒரு குறைகடத்தியில் நேர்பெயர்வு லேசர் தோன்றும் முறையை விளக்கி எழுது.

20. லேசர்கள் தோற்றுவிப்பதற்குப் பயன்படுத்தப்படும் குறைகடத்திப் பொருள்கள் யாவை?

21. கேலியம் ஆர்சினைடு டயோடு ஒன்றைப் பயன்படுத்தி லேசர் கற்றைகளை எவ்வாறு தோற்றுவிக்கலாம் என்பதை விளக்கிக் கூறு.

22. குறைகடத்தியைக்கொண்டு தோற்றுவிக்கப்படும் லேசர், மற்றத் திடப்பொருள் லேசர், வாயு லேசர் ஆகியவற்றைவிட எவ்வகையில் மேம்பாடுடையது?

23. குறைகடத்தியைக்கொண்டு காந்த ஒளியியல் லேசர்கள் தோற்றுவிக்கும் முறையினைப் படத்துடன் விவரிக்க.

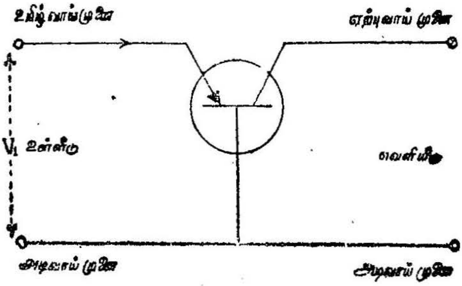
14. டிரான்சிஸ்டர் பராமீட்டர்கள்

பராமீட்டர்கள்

ஒரு டிரான்சிஸ்டரில் உமிழ்வாய், அடிவாய், ஏற்புவாய் என்று மூன்று முனைகள் உள்ளன. இவற்றைப் பயன்படுத்தும் போது இதில் ஏதாவது இரண்டினை உள்ளீட்டு முனைகளாகவும் (input-terminals), மூன்றாவது முனையையும், இந்த இரண்டிலொன்றையும் வெளியீட்டு முனைகளாகவும் (output terminals) பயன்படுத்துகிறோம். எந்த முனை உள்ளீட்டுச் சுற்றுக்கும், வெளியீட்டுச் சுற்றுக்கும் பொதுவாக உள்ளதோ அதனை 'பொது முனை' (common terminal) என்கிறோம். இதன் அடிப்படையில் ஒரு டிரான்சிஸ்டர் மூன்று வெவ்வேறு அமைப்புகளில் [(a) பொது அடிவாய் அமைப்பு, (b) பொது உமிழ்வாய் அமைப்பு, (c) பொது ஏற்புவாய் அமைப்பு] பயன்படுத்தப்படலாம் என்று தெரிகிறது. எந்த அமைப்பில் பயன்படுத்தினாலும் இதற்கு நான்கு இணைப்புமுனைகள் உள்ளதாகக் கொள்ளலாம். சுருக்கமாக இதை 'நான்முனை அமைப்பு' (four pole) எனச் சொல்லுகிறோம்.

படம் 14.1-ல் ஒரு நான்முனை அமைப்புக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இது ஒரு பொது அடிவாய் அமைப்பு ஆகும். இதில் உமிழ்வாயும் அடிவாயும் உள்ளீட்டு முனைகளாகும். ஏற்புவாயும், அடிவாயும் வெளியீட்டு முனைகளாகும். டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுகளைப் பகுப்பாய்வு செய்வதற்கு இந்த நான்முனை அமைப்பு மிகப் பயனுள்ளதாக இருக்கும். வெற்றிடக்குழல் சுற்றுகளில் இந்த நான்முனை அமைப்புப் பொதுவாகப் பயன்படுத்துவதில்லை. டிரான்சிஸ்டர்களின் மின்னியல் குணங்கள் மின்னோட்டங்களைப் பொறுத்தும், மின்னழுத்தங்களைப் பொறுத்தும், அதிர்வெண்ணைச் சார்ந்தும் பெரிதும் மாறுபாடடைகின்றன. எனவே, ஒரு டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுக்கு மிகச் சரியான இணைமாற்றுச் சுற்றைக் காண்பது என்பது அவ்வளவு எளிதானதன்று. ஆகவேதான், ஒரு நான்முனை அமைப்பையும், பராமீட்டர்களையும் கொண்டு டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுகளைப் பகுப்பாய்வு செய்யும் முறை அறிமுகப்படுத்தப்பட்டது.

படம் 14·2-ல் ஒரு நான்முனை அமைப்பில் மின்னோட்ட-மின்னழுத்தங்களும் அவற்றின் திசைகளும் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன. டிரான்சிஸ்டர் அமைப்புக்குள் உள்ளோடும் மின்னோட்டம் நேர்க்குறி கொண்டதாகவும், வெளிவருமின்னோட்டம் எதிர்க்குறி கொண்டதாகவும் கொள்ளப்படுகின்றன. மின்னழுத்தங்களுக்கு



படம் 14.1
டிரான்சிஸ்டரின் நான்முனை அமைப்பு

நேர்க்குறியும், எதிர்க்குறியும் அப் புள்ளிகளிலேயே குறிக்கப்படுகின்றன. இந்த அமைப்பில் I_1, I_2 என்பவை மின்னோட்டங்களையும், V_1, V_2 என்பவை மின்னழுத்தங்களையும் குறிக்கின்றன. இந்த நான்கு அளவீடுகளும் அவற்றின் கட்டக்கோணங்களும் டிரான்சிஸ்டர் சுற்றின் செயல் முழுவதையும் முழுமையாக விவரிக்கப் போதுமானதாகும். I_1, I_2, V_1, V_2 ஆகிய நான்கு அளவீடுகளின் தொடர்புகளைப் பராமீட்டர்களின் உதவிகொண்டு சமன்பாடுகளாக அமைக்கலாம். இத் தொடர்பினைக் காண்பிக்க மூன்றுவகையான பராமீட்டர்களைப் பயன்படுத்துகிறோம். அவை யாவன:

1. மின்மறுப்பு (impedance) பராமீட்டர்கள்
   (Z—பராமீட்டர்கள்).
2. மின்ஏற்பு (admittance) பராமீட்டர்கள்)
   (Y—பராமீட்டர்கள்).
3. கலப்பின (Hybrid) பராமீட்டர்கள்
   (h—பராமீட்டர்கள்).

உள்ளீடு மின்னழுத்தம் V_1 மற்ற மூன்று அளவீடுகள் V_2, I_1 I_2 ஆகியவற்றைச் சார்ந்து அமையும் என்று கொண்டால் இதை ஒரு சார்பாக (function) எழுதலாம்.

$$V_1 = f(V_2\ I_1\ I_2) \qquad \ldots 14\cdot 1$$

இதேபோன்று வெளியீடு மின்னழுத்தம் V_2-மற்ற மூன்று அளவீடுகளையும் சார்ந்து அமையும்.

$$V_2 = f(V_1, I_1, I_2) \qquad \ldots 14\cdot 2$$

இவ்வாறு மின்னோட்டங்களையும் எழுதலாம். மின்னழுத்தங்கள் மின்னோட்டங்களைமட்டும் சார்ந்து அமைவதாகவும், மின்னோட்டங்கள் மின்னழுத்தங்களைமட்டும் சார்ந்து அமைவதாகவும் கொண்டால், இந்தச் சார்புகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$V_1 = f_1(I_1\ I_2) \qquad I_1 = f_3(V_1\ V_2)$$

$$V_2 = f_2(I_1\ I_2) \qquad I_2 = f_4(V_1\ V_2)$$

மாறக்கூடிய சிறு சைகை (small signal) மின்னழுத்தங்கள் இந்தச் சுற்றமைப்புக்குக் கொடுக்கப்படும்போது உள்ளீடு, வெளியீடு மின்னழுத்தங்களில் தோன்றும் மாற்றங்களைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$dV_1 = \frac{\delta V_1}{\delta I_1}.\, dI_1 + \frac{\delta V_1}{\delta I_2}.\, dI_2 \qquad \ldots 14\cdot 3$$

$$dV_2 = \frac{\delta V_2}{\delta I_1}.\, dI_1 + \frac{\delta V_2}{\delta I_2}.\, dI_2 \qquad \ldots 14\cdot 4$$

சிறு சைகைகளில் செயற்படும்போது இந்தச் சிறு மாற்றங்கள் மாறிலியாகக் கொள்ளலாம். இந்த, $\frac{\delta V_1}{\delta I_1}$-ஒரு மின்மறுப்புக்கான பரிமாணத்தைப் பெற்றிருக்கும். எனவே, இதை மின்மறுப்பு-Z ஆகக் கொள்ளலாம். சமன்பாடு 14·3, 14·4-ல் உள்ள நான்கு பகுதி வகைக்கெழுக்களும் மின்மறுப்புகளேயாகும். அவற்றைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$Z_{11} = \frac{\delta V_1}{\delta I_1} \qquad Z_{12} = \frac{\delta V_1}{\delta I_2}$$

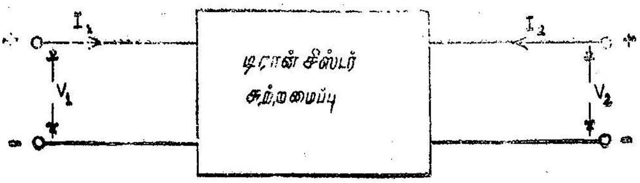
$$Z_{21} = \frac{\delta V_2}{\delta I_1} \qquad Z_{22} = \frac{\delta V_2}{\delta I_2}$$

இந்த Z_{11}, Z_{12}, Z_{21}, Z_{22} ஆகிய நான்குமே மின்மறுப்புப் பராமீட்டர்கள் எனப்படுகின்றன. இதேபோன்று மின் ஏற்புப் பராமீட்டர்களையும், கலப்பினப் பராமீட்டர்களையும் பெறலாம். டிரான்சிஸ்டர்கள் பெரும்பாலும் சிறு மாறுதிசை மின்னோட்டங்களைப் பெருக்குவதற்குப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இந்தச் சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்திச் சுற்றுகளைப் பகுப்பாய்வு செய்யலாம்.

மேலே காட்டப்பட்டுள்ள படத்திலுள்ள சுற்றுக்கு இந்தப் பராமீட்டர்களைப் பயன்படுத்தி I_1, I_2, V_1, V_2 ஆகியவற்றிடையேயுள்ள தொடர்புகளைக் குறிக்கும் சமன்பாடுகளைப் பெறுவோம்.

மின்மறுப்பு (Impedance) பராமீட்டர்கள் (Z-பராமீட்டர்கள்)

படம் 14·2-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ள சுற்றுக்கு நான்கு மின்மறுப்புகள் உள்ளன. கொடுக்கப்பட்டுள்ள டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுக்கு V_1, V_2, Z-பராமீட்டர் I_1, I_2 ஆகியவற்றிற்கிடையேயுள்ள தொடர்பைக் காட்டும் சமன்பாடுகள்,



படம் 14.2
டிரான்சிஸ்டரில் மின்னோட்டங்களும் மின்னழுத்தங்களும்

$$V_1 = Z_{11} I_1 + Z_{12} I_2 \qquad \ldots 14.5$$

$$V_2 = Z_{21} I_1 + Z_{22} I_2 \qquad \ldots 14.6$$

Z_{11}, Z_{12}, Z_{21}, Z_{22} ஆகிய நான்கும் மின்மறுப்புப் பராமீட்டர்கள். இவற்றைப் பின்வருமாறு வரையறுக்கலாம்.

$$Z_{11} = \left(\frac{\delta V_1}{\delta I_1}\right)_{I_2=0}$$
— வெளியீடு சுற்றுத் திறந்ததாயிருக்கும்போது, ($I_2=0$) உள்ளீடு மின்மறுப்பு (input impedance).

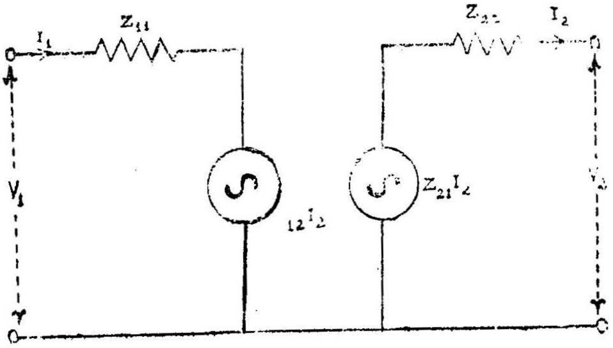
$$Z_{12} = \left(\frac{\delta V_1}{\delta I_2}\right)_{I_1=0}$$
— உள்ளீடு சுற்றுத் திறந்ததாயிருக்கும்போது ($I_1=0$) திருப்பிய மாற்று மின்மறுப்பு (reverse transfer impedance)

$$Z_{21} = \left(\frac{\delta V_2}{\delta I_1}\right)_{I_2=0}$$
— வெளிச்சுற்றுத் திறந்ததாயிருக்கும் போது ($I_2 = 0$) முன்னேக்கியமாற்று மின்மறுப்பு (forward transfer impedance).

$$Z_{22} = \left(\frac{\delta V_2}{\delta I_2}\right)_{I_1=0}$$
— உள்ளீடுசுற்றுத்திறந்ததாயிருக்கும் போது ($I_1 = 0$) வெளியீடு மின் மறுப்பு (output impedance).

சமன்பாடுகள் 14.5, 14.6-ல் மின்னேட்டங்கள் I_1, I_2ஐச் சார்பற்றி மாறிகளாகவும், மின்னழுத்தங்கள் V_1, V_2 ஐச் சார்பற்ற மாறிகளாகவும் கொண்டுள்ளோம். Z_{11}-மின் மறுப்பு வழியே I_1-மின்னேட்டம் செல்லுவதாலும், திருப்பிய மாற்று மின்தடை Z_{12} வழியே I_2-மின்னேட்டம் செல்வதாலும் V_1-மின்னழுத்தம் தோன்றுகிறது. இதே போன்று I_1-மின்னேட்டம் முன்னேக்கிய மாற்று மின்மறுப்பு Z_{21} வழியே செல்வதாலும் I_2-மின்னேட்டம் வெளியீடு மின்மறுப்பு Z_{22} வழியே செல்வதாலும், மின்னழுத்தம் V_2 தோன்றுகிறது. உயிர்ப்பற்ற (Passive) சுற்றுகளில் $Z_{12} = Z_{21}$ ஆக அமையும். செயல்திறமிக்க சுற்றுகளில் இவை சமமாக இருக்காது.

ஒரு நான்முனை அமைப்பை T.வடிவ இணைமாற்றுச் சுற்ருகவோ அல்லது π-வடிவ இணைமாற்றுச் சுற்ருகவோ காண்பிக்கலாம். படம் 14.3-ல் Z-பராமீட்டர்கள் பயன்படுத்தப்பட்



படம் 14.3
பராமீட்டர் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள இணைமாற்றுச்சுற்று

டுள்ள ஓர் இணைமாற்றுச் சுற்றுக் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் இரண்டு மின்னியற்றிகள் (generators) காண்பிக்கப்பட்டுள்ளன.

இதை இரு மின்னியற்றி வடிவம் (Two generator form) எனச் சொல்லலாம்.

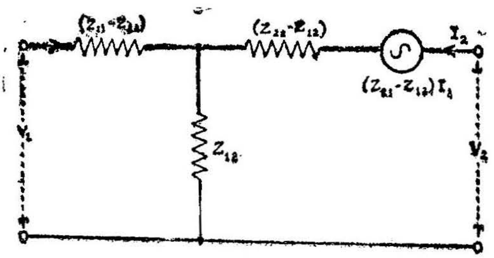
இந்த இணைமாற்றுச் சுற்றைக்கொண்டு சமன்பாடுகள் 14.5. 14.6ஐ மாற்றி எழுதலாம். சமன்பாடு 14.5-க்கு $Z_{12} \cdot I_1$ ஐக் கூட்டிக் கழிக்க,

$$V_1 = (Z_{11} - Z_{12})\, I_1 + Z_{12}\, (I_1 + I_2) \qquad \ldots 14.7$$

சமன்பாடு 14.6-க்கு $(Z_{12}\, I_1 + Z_{12}\, I_2)$ஐக் கூட்டிக் கழிக்க,

$$V_2 = (Z_{21} - Z_{12})\, I_1 + (Z_{22} - Z_{12})\, I_2 + Z_{12}\, (I_1 + I_2) \qquad \ldots 14.8$$

இந்தச் சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்தி இந்த டிரான்சிஸ்டர் சுற்றின் ஒற்றை மின் இயற்றி வடிவ இணைமாற்றுச் சுற்றை (T-வடிவ) அமைக்கலாம். இந்த T-வடிவ ஒற்றை மின் இயற்றி இணை மாற்றுச்சுற்று படம் 14.4-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த



படம் 14.4
ஒற்றை மின்னியற்றியுடைய இணைமாற்றுச் சுற்று

இணைமாற்றுச் சுற்றைக்கொண்டு நான்முனை அமைப்பின் உள்ளீடு மின்மறுப்பைக் கணக்கிடலாம்.

$$Z_i = \frac{V_1}{I_1} = Z_{11} + Z_{12} \cdot \frac{I_2}{I_1} \qquad \ldots 14.9$$

இதேபோன்று, வெளியீடு மின்மறுப்பு,

$$Z_0 = \frac{V_2}{I_2} = Z_{22} + Z_{21} \cdot \frac{I_1}{I_2} \qquad \ldots 14.10$$

Z_L-என்ற பளு மின் மறுப்பு (Load impedance) வெளியீட்டுச் சுற்றில் இணைக்கப்படுவதாகக் கொண்டால்,

$$V_2 = -I_2 \cdot Z_L \qquad \ldots 14.11$$

$$\frac{V_2}{I_2} = -Z_L \qquad \ldots 14.12$$

சமன்பாடுகள் 14.10, 14.12 ஆகியவற்றிலிருந்து,

$$-Z_L = Z_{21} \cdot \frac{I_1}{I_2} + Z_{22}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = -\left[\frac{Z_{21}}{Z_{22} + Z_L} \right] \qquad \ldots 14.13$$

$\frac{I_2}{I_1}$ என்பது மின்னோட்டப்பெருக்கம் (current gain) ஆகும். I_2, I_1 எதிர்த்திசைகளில் இருப்பதால் $\frac{I_2}{I_1}$ எதிர்க்குறி கொண்டிருக்கிறது. எனவே, ஒரு நான்முனை அமைப்பில் மின்னோட்டப் பெருக்கம்,

$$A_I = \left[\frac{Z_{21}}{Z_{22} + Z_L} \right] \qquad \ldots 14.14$$

சமன்பாடு 14.13ஐப் பயன்படுத்தி $\frac{I_2}{I_1}$-க்கான மதிப்பைச் சமன்பாடு 14.9-ல் பதிலீடுசெய்து உள்ளீடு மின் மறுப்பைக் காணலாம்.

$$Z_i = Z_{11} - \frac{Z_{12} Z_{21}}{Z_{22} + Z_L} \qquad \ldots 14.15$$

நான்முனை அமைப்பில் மின்னழுத்தப் பெருக்கம்,

$$A_V = \frac{V_2}{V_1} = \frac{Z_L I_2}{Z_i \; I_1} = \frac{Z_L Z_{22}}{(Z_{22}+Z_L)Z_i} \qquad \ldots 14.16$$

நான்முனை அமைப்பில் திறன்பெருக்கம் (Power gain),

$$A_p = \left[\frac{I_2}{I_1} \right]^2 \cdot \frac{Z_L}{Z_i} = \frac{A_I^2 Z_L}{Z_i} \qquad \ldots 14.17$$

மின் ஏற்பு (admittance)) பராமீட்டர்கள் (Y-பராமீட்டர்கள்)

சமன்பாடுகள் 14.5, 14.6-ல் முன்கூறியதுபோல் மின்னோட்டங்கள் I_1, I_2 ஐச் சார்பற்ற மாறிகளாகக்கொண்டுள்ளோம். சில சுற்றுகளில் மின்னழுத்தங்களைச் சார்பற்ற மாறிகளாகவும், மின்னோட்டங்களைச் சார்பு மாறிகளாகவும் கொள்வதே பகுப்பாய்வுக்கு எளிதாக இருக்கும்.

$$I_1 = f_1\,(V_1\ V_2) \qquad \ldots\ 14\cdot18$$

$$I_2 = f_2\,(V_1\ V_2) \qquad \ldots\ 14.19$$

இச் சமன்பாடுகளை வகைப்படுத்த,

$$dI_1 = \left(\frac{\delta I_1}{\delta V_1}\right).dV_1 + \left(\frac{\delta I_1}{\delta V_2}\right).dV_2 \qquad \ldots\ 14\cdot20$$

$$dI_2 = \left(\frac{\delta I_2}{\delta V_1}\right).dV_1 + \left(\frac{\delta I_2}{\delta V_2}\right).dV_2 \qquad \ldots\ 14\cdot21$$

$\left(\frac{\delta I}{\delta V}\right)$ - என்பது மின்மறுப்பின் தலைகீழ் மதிப்பாகும். அதாவது இது மின் ஏற்புகளைக் குறிக்கின்றன.

$\frac{\delta I}{\delta V} = y$—மின் ஏற்புப் பராமீட்டராகக் கொள்ளலாம். இந்தப் பராமீட்டர்களைப் பயன்படுத்தி I_1, I_2-மின்னோட்டங்களுக்கான சமன்பாடுகளை எழுத,

$$I_1 = Y_{11}\,V_1 + Y_{12}\,V_2 \qquad \ldots\ 14\cdot22$$

$$I_2 = Y_{21}\,V_1 + Y_{22}\,V_2 \qquad \ldots\ 14\cdot23$$

இந்த மின் ஏற்புப் பராமீட்டர்களைக் கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கலாம்.

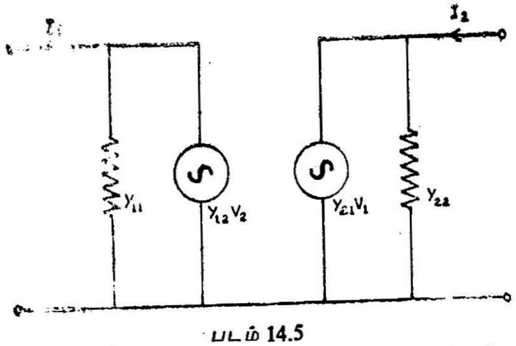
$$Y_{11} = \left(\frac{\delta I_1}{\delta V_1}\right)_{V_2=0}$$ — வெளிச்சுற்று, குறுக்கிணைக்கப் பட்டிருக்கும் போது உள்ளீடு மின் ஏற்பு.

$$Y_{12} = \left(\frac{\delta I_1}{\delta V_2}\right)_{V_1=0}$$ — உட்சுற்று குறுக்கிணைக்கப் பட்டிருக்கும்போது திருப்பிய மாற்று மின் ஏற்பு.

$$Y_{21} = \left(\frac{\delta I_2}{\delta V_1}\right)_{V_2=0}$$ — வெளிச்சுற்று குறுக்கிணைக்கப் பட்டிருக்கும்போது முன்னோக்கிய மாற்று மின் ஏற்பு.

$$Y_{22} = \left(\frac{\delta I_2}{\delta V_2}\right)_{V_1=0}$$ — உள்ளீட்டுச்சுற்று குறுக்கிணைக்கப் பட்டிருக்கும் போது வெளியீடு மின் ஏற்பு.

இந்த நான்கு பராமீட்டர்களும் மின் ஏற்புப் பரிமாணங்களைக் கொண்டிருக்கும். இவற்றை ஒரு நான்முனை அமைப்புக்கு வரையறுக்கும்போது ஏதாவது இருமுனைகள் (உள்ளீடு முனைகளோ அல்லது வெளியீடு முனைகளோ) குறுக்கிணைக்கப் பட்டிருப்பதாகக்கொண்டு மற்றதற்கு வரையறுக்கப்படுகின்றது. எனவேதாம் இவை, 'குறுக்கிணைப்பு மின் ஏற்புப் பராமீட்டர்கள்' (Short circuited admittance parameters) என்று கூறப்படுகின்றன.



படம் 14.5

Y-பராமீட்டர்கள் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள இணைமாற்றுச் சுற்று

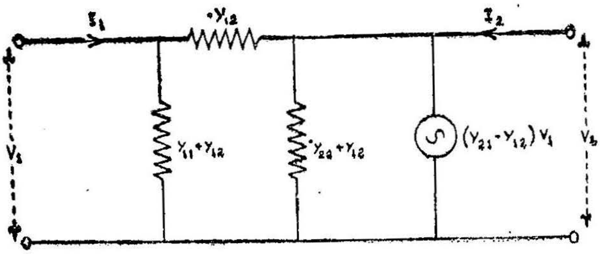
படம் 14.5-ல் y-பராமீட்டர்களைப் பயன்படுத்தி ஒரு டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுக்கான இணைமாற்றுச் சுற்றுத் தரப்பட்டுள்ளது. இது இரு மின்மாற்றி வடிவமுடையது.

சமன்பாடு 14.23-க்கு $Y_{12}\ V_1$ ஐக் கூட்டிக்கழிக்க,

$$I_2 = Y_{21} V_1 + Y_{22} V_2 + (Y_{21} - Y_{12}) \qquad \ldots 14.24$$

என ஆகும். இந்தச் சமன்பாட்டிற்குரிய இணைமாற்றுச்சுற்று π-வடிவமாக இருக்கும். இது ஒற்றை மின் இயற்றி (Single generator) கொண்டதாக இருக்கும். இது படம் 14.6-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

உயிர்ப்பற்ற சுற்றில் $Y_{12} = Y_{21}$ ஆக இருக்கும். திறமிக்க சுற்றில் இவை சமமாக இருக்கா. $(Y_{21} - Y_{12})\ V_1$—என்பதைத்தான் ஒரு மின்னியற்றியாக (generator) படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இது வெளியீடு முனைகளுக்கு இணையாக அமைந்திருக்கும்.



படம் 14.6

ஒற்றை மின்னியற்றியுள்ள இணைமாற்றுச் சுற்று (Π-சுற்று)

கீழ்க்கண்ட தொடர்புகளைக் கொண்டு Y-பராமீட்டரை Z-பராமீட்டர்களாக மாற்றலாம்:

$$Z_{11} = \frac{Y_{22}}{\Delta Y} \qquad Z_{21} = -\frac{Y_{12}}{\Delta Y}$$

$$Z_{21} = \frac{-Y_{21}}{\Delta Y} \qquad Z_{22} = \frac{Y_{11}}{\Delta Y}$$

இங்கு ΔY-என்பது $[Y_{11}\ Y_{22} - Y_{12}\ Y_{21}]$-க்குச் சமமாகும். இதேபோன்று Z-பராமீட்டர்களை Y-பராமீட்டர்களாக மாற்றுவதற்கான தொடர்புகள்,

$$Y_{11} = \frac{Z_{22}}{\Delta Z} \qquad Y_{12} = \frac{-Z_{12}}{\Delta Z}$$

$$Y_{21} = \frac{-Z_{21}}{\Delta Z} \qquad Y_{22} = \frac{Z_{11}}{\Delta Z}$$

இங்கு ΔZ என்பது $[Z_{11} Z_{22} - Z_{12} Z_{21}]$-க்குச் சமமாகும்.

கலப்பின (Hybrid) பராமீட்டர்கள் (*h*-Parameters)

பொதுவாகவே, நடைமுறைச் சுற்றுகளில் பயன்படுத்தப் படும் டிரான்சிஸ்டர்கள் மிகக்குறைந்த உள்ளீடு மின்மறுப்பையும் அதே நேரத்தில் மிகுதியான வெளியீடு மின்மறுப்பையும் கொண்டிருக்கும். டிரான்சிஸ்டர்கள் உயர் அதிர்வெண்களில் செயற்படும்போது *Z*, *Y*- பராமீட்டர்களைப் பயன்படுத்திக் கணக்கீடுகளும், பகுப்பாய்வும் செய்தால் முடிவுகள் மிக மோச மானதாக—சீர்கேடானதாக—இருக்கும்.

எனவே, மின் மறுப்புப் பராமீட்டர்களையும், மின் ஏற்புப் பராமீட்டர்களையும் கலந்து கலப்பினப் பராமீட்டர்கள் என்ற ஒன்றைத் தோற்றுவித்தனர். இந்தக் கலப்பினப் பராமீட்டர்கள் டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுகளின் பகுப்பாய்வில் மிகப் பயனுள்ளதாக அமையும். முக்கியமாகக் குறைந்த உள்ளீடு மின்மறுப்பும், மிகுந்த வெளியீடு மின்மறுப்பும் கொண்ட டிரான்சிஸ்டர் சுற்று களுக்கு மிகப் பொருத்தமாக அமையும். அத்தோடு இந்த *h*-பராமீட்டர்களை எளிதாக அளந்தறியலாம். மேலும், இவை டிரான்சிஸ்டர் செயற்படும் நிலைக்குப் பொருத்தமானதாக அமைகின்றது.

இப்போது உள்ளீடு மின்னழுத்தம்- V_1, உள்ளீடு மின்னோட்டம் I_1 ஐயும். வெளியீடு மின்னழுத்தம் V_2-வையும் சார்ந்திருப்பதாகக் கொள்வோம்.

$$V_1 = f(I_1 V_2) \qquad 14.25$$

இதே போன்று வெளியீடு மின்னோட்டம் I_2-ஆனது I_1-ஐயும் V_2 வையும் சார்ந்திருப்பதாகக் கொள்ளலாம்.

$$I_2 = f(I_1 V_2) \qquad \ldots 14{\cdot}26$$

சமன்பாடுகள் 14-25, 14-26-இவைகளை வகைப்படுத்த,

$$dV_1 = \left(\frac{\delta V_1}{\delta I_1}\right)_{V_2} dI_1 + \left(\frac{\delta V_1}{\delta V_2}\right)_{I_1} dV_2 \quad \ldots 14 \cdot 27$$

$$dI_2 = \left(\frac{\delta I_2}{\delta I_1}\right)_{V_2} dI_1 + \left(\frac{\delta I_1}{\delta V_2}\right)_{I_1} dV_2 \quad \ldots 14 \cdot 28$$

இந்தச் சமன்பாடுகளிலுள்ள பகுதிவகைக் கெழுக்கள்தாம் கலப்பினப் பராமீட்டர்கள் எனப்படுகின்றன. இவற்றைக் கீழ்க் கண்டவாறு வரையறுக்கலாம்.

$h_{11} = \left(\frac{\delta V_1}{\delta I_1}\right)_{V_2 = 0}$ — வெளிச்சுற்று குறுக்கிணைக்கப் பட்டிருக்கும்போது உள்ளீடு மின்மறுப்பு.

$h_{12} = \left(\frac{\delta V_1}{\delta V_2}\right)_{I_1 = 0}$ — உள்ளீடு சுற்று திறந்ததாக இருக்கும்போது திருப்பிய மின்னழுத்த மாற்றுத் தகவு அல்லது மின்னழுத்தப் பெருக்கம்.

$h_{21} = \left(\frac{\delta I_2}{\delta I_1}\right)_{V_2 = 0}$ — வெளிச்சுற்று குறுக்கிணைக்கப் பட்டிருக்கும்போது முன்னோக்கிய மின்னோட்ட மாற்றுத்தகவு அல்லது மின்னோட்டப் பெருக்கம்.

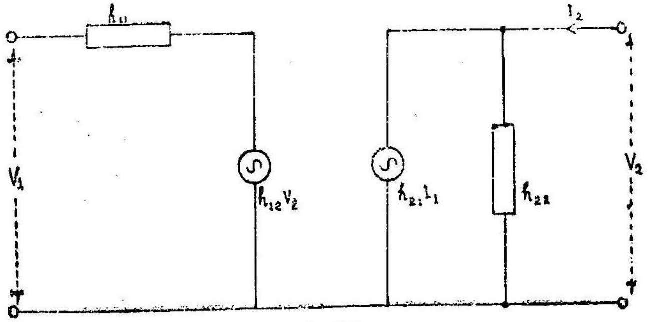
$h_{22} = \left(\frac{\delta I_2}{\delta V_2}\right)_{I_1 = 0}$ — உள்ளீடு சுற்று திறந்ததாயிருக் கும்போது வெளியீடு மின் ஏற்பு.

இந்த h-பராமீட்டர்களைப் பயன்படுத்தப்படும்போது h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22} என்றெல்லாம் பொதுவாக எழுதுவதில்லை. இவற்றைச் சற்று மாறுபட்ட குறியீடுகளில் எழுதலாம். எடுத்துக் காட்டாக, h_i- என்பது உள்ளீடு மின்மறுப்பு, h-பாரமீட்டரைக் குறிக்கும். h_f- என்பது முன்னோக்கிய மின்னோட்டப் பெருக்கத் தைக் குறிக்கும். h_r- என்பது திருப்பிய மின்னழுத்தப் பெருக்கத் தினையும், h_o- என்பது வெளியீடு மின் ஏற்பினையும் குறிக்கின்றன.

பொது அடிவாய் அமைப்பிற்கு இந்தப் பராமீட்டர்கள் h_{ib}, h_{fb}, h_{rb}, h_{ob}- எனக் குறிக்கப்படும். இதே போன்று பொது உமிழ்வாய் அமைப்பிற்கு h_{ie}, h_{fe}, h_{re}, h_{oe} ஆகும்.

h-பராமீட்டரைப்பயன்படுத்தி ஒரு நான்முனை அமைப்பிற்கு இணைமாற்றுச் சுற்றை வரையலாம். இது படம் 14.7-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

இதில் இரண்டு மின்மாற்றிகள் உள்ளன. இந்த இணைமாற்றுச் சுற்றைக் கொண்டு டிரான்சிஸ்டர் சுற்றின் உள்ளீடு, வெளியீடு மின்மறுப்புகள், மின்னோட்ட மின்னழுத்தப் பெருக்கங்கள், திறன் பெருக்கம் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடலாம்.



படம் 14.7
கலப்பின பராமீட்டர்கள் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள இணைமாற்றுச் சுற்று

$$\text{உள்ளீடு மின் மறுப்பு } Z_i = \frac{h_{11} + \triangle h\, Z_L}{1 + h_{22}\, Z_L}$$

$$\text{வெளியீடு மின்மறுப்பு } Z_0 = \frac{h_{11} + Z_S}{\triangle h + h_{22}\, Z_S}$$

இங்கு Z_S - என்பது மூலத்தின் மின்மறுப்பு (source impedance) ஆகும்.

$$\text{மின்னோட்டப் பெருக்கம் } A_I = \frac{I_2}{I_1} = \frac{h_{21}}{1 + h_{22}\, Z_L}$$

$$\text{மின்னழுத்தப் பெருக்கம் } Av = \frac{V_2}{V_1} = \frac{-I_2\, Z_L}{I_1\, Z_I}$$

$$= \left(\frac{-h_{21}}{1 + h_{22} Z_L}\right) \frac{Z_L}{Z_I}$$

$$\text{திறன் பெருக்கம் } A_P = \left[\frac{I_2}{I_1}\right]^2 \cdot \frac{Z_L}{Z_i}$$

$$= \frac{(h_{21})^2}{(1+h_{22}Z_L)^2} \cdot \frac{Z_L}{Z_i}$$

$$= \frac{(h_{21})^2 \cdot Z_L}{(1 + h_{22} Z_L)(h_{11} + \triangle h . Z_L)}$$

இங்கு $\triangle h$- என்பது $h_{11} \cdot h_{22} - h_{12} \cdot h_{21}$— ஆகும்.

h-பராமீட்டர்களை Z-பராமீட்டர்களாகவும், y-பராமீட்டர்களாகவும் மாற்றலாம். இவற்றிற்கான தொடர்பு கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

h-பராமீட்டரிலிருந்து Z-பராமீட்டருக்கு.

$$Z_{11} = \frac{\triangle h}{h_{22}}$$

$$Z_{12} = \frac{h_{12}}{h_{22}}$$

$$Z_{21} = \frac{-h_{21}}{h_{22}}$$

$$Z_{22} = \frac{1}{h_{22}}$$

Z-பராமீட்டரிலிருந்து h-பராமீட்டருக்கு

$$h_{11} = \frac{\triangle Z}{Z_{22}}$$

$$h_{12} = \frac{Z_{12}}{Z_{22}}$$

$$h_{21} = \frac{-Z_{21}}{Z_{22}}$$

$$h_{22} = \frac{1}{Z_{22}}$$

h-பராமீட்டரிலிருந்து Y-பராமீட்டருக்கு

$$Y_{11} = \frac{1}{h_{11}}$$

$$Y_{12} = \frac{-h_{21}}{h_{11}}$$

$$Y_{21} = \frac{h_{21}}{h_{11}}$$

$$Y_{22} = \frac{\triangle h}{h_{11}}$$

Y-பராமீட்டரிலிருந்து h-பராமீட்டருக்கு

$$h_{11} = \frac{1}{Y_{11}}$$

$$h_{12} = \frac{-Y_{12}}{Y_{11}}$$

$$h_{21} = \frac{Y_{21}}{Y_{11}}$$

$$h_{22} = \frac{\triangle Y}{Y_{11}}$$

ஒருவகைப் பராமீட்டர்கள் தெரிந்தால் இந்த மாற்றுத் தொடர்புகளைக் கொண்டு மற்றவகைப் பராமீட்டர்களைக் கணக்கிட்டு விடலாம். இவற்றிடையேயுள்ள தொடர்பினை அட்டவணை காட்டுகிறது.

அட்டவணை

பல்வேறு பராமீட்டர் தொடர்புகளைக் காண்பிக்கும் அட்டவணை

இதிலிருந்து → / இதற்கு ↓	Z_1	Y	h
Z	Z_{11} Z_{12} Z_{21} Z_{22}	$\frac{Y_{22}}{\Delta Y}$ $\frac{Y_{21}}{\Delta Y}$ $\frac{-Y_{21}}{\Delta Y}$ $\frac{Y_{11}}{\Delta Y}$	$\frac{\Delta h}{h_{22}}$ $\frac{h_{12}}{h_{22}}$ $\frac{-h_{21}}{h_{22}}$ $\frac{1}{h_{22}}$
Y	$\frac{Z_{22}}{\Delta Z}$ $\frac{-Z_{12}}{\Delta Z}$ $\frac{-Z_{21}}{\Delta Z}$ $\frac{Z_{11}}{\Delta Z}$	Y_{11} Y_{12} Y_{21} Y_{22}	$\frac{1}{h_{11}}$ $\frac{-h_{12}}{h_{11}}$ $\frac{h_{21}}{h_{11}}$ $\frac{\Delta h}{h_{11}}$
h	$\frac{\Delta Z}{Z_{22}}$ $\frac{Z_{12}}{Z_{22}}$ $\frac{-Z_{21}}{Z_{22}}$ $\frac{1}{Z_{22}}$	$\frac{1}{Y_{11}}$ $\frac{-Y_{12}}{Y_{11}}$ $\frac{Y_{21}}{Y_{11}}$ $\frac{\Delta Y}{Y_{11}}$	h_{11} h_{12} h_{21} h_{22}

வினாக்கள்

1. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் செயலை விளக்கக் குறிப்பிடப்படும் பராமீட்டர்கள் யாவை?

2. நடைமுறையிலுள்ள ஒரு பொது டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கியின் சிறப்பியல்புகள் யாவை? 'சிறு சைகை' நிபந்தனைகள் என்றால் என்ன? இந்த மின்னோட்டப் பெருக்கி நேரியலாகச் செயல்பட வேண்டுமானால் Z_{11}, Z_{12}, Z_{21}, Z_{22} ஆகியவற்றின் வரம்புகள் யாவை?

3. ஒரு டிரான்சிஸ்டர் வலைச்சுற்றில் கலப்பினப் பராமீட்டர்களின் மதிப்புகளை Z பராமீட்டர்களைக்கொண்டு கணக்கிடுக.

4. ஒரு டிரான்சிஸ்டர் உயர் அதிர்வெண்ணில் செயற்படும் போது எந்த உள்மின்மறுப்பு அதைப் பாதிக்கிறது.

5. Y_1 பராமீட்டர்களையும் Z- பராமீட்டர்களையும் அளந்தறிவது கடினமாக உள்ளது. கலப்பினப் பராமீட்டர்களான h-பராமீட்டர்களை அளந்தறிவது ஏன் எளிதாக உள்ளது?

6. ஒரு டிரான்சிஸ்டர் சுற்றிலுள்ள பகுதிகளின் மதிப்பைக் கொண்டு h பராமீட்டர்களை அளந்தறியச் செய்யப்படும் பரிசோதனையை விளக்கி எழுது.

7. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் h-பராமீட்டர்களை மட்டும் குறிப்பிடுவதால் உள்ள பயன்கள் யாவை? இதிலுள்ள குறைகள் யாவை?

8. ஒரு டிரான்சிஸ்டரின் கலப்பின பராமீட்டர்கள் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. $h_{11} = 45$ ஓம். $h_{12} = 4 \times 10^{-4}$, $h_{21} = -0{\cdot}98$. $h_{22} = 10^{-5}$ மோ. பொது உமிழ்வாய், பொது ஏற்புவாய்ச் சுற்றுகளின் பராமீட்டர்களைக் கண்டுபிடி.

9. ஒரு சந்தி டிரான்சிஸ்டருக்கு $\alpha = 0{\cdot}97$, $g_e = 0{\cdot}3\ \mu$ மோ, $\gamma_B = 200$ ஓம். குறை அதிர்வு எண்ணில் அடிவாய் மின் தடை $\gamma_B = 600$ ஓமாக உயரும். இந்த அமைப்பில் $I_2 =$ 1மில்லி ஆம்பியர் பொது அடிவாய், பொது உமிழ்வாய் ஆகிய இரு அமைப்புகளுக்கும் கலப்பின பராமீட்டர்களைக் கணக்கிடு.

10. ஒரு பொது உமிழ்வாய் டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கியின் உள்ளீட்டு மின்தடை 500 ஓம். சைகை மூலத்தின் உள்ளீடு தடை 300 ஓம். டிரான்சிஸ்டரின் Z பராமீட்டர்கள் $\alpha = 0{\cdot}98$, $\gamma_b = 200$ ஓம். $\gamma_c = 2{\cdot}2$ மெகா ஓம். $\gamma_e = 50$ ஓம். பெருக்கியானது சிறு சைகையில் செயற்படுகிறது எனக் கொண்டு (a) மின்னூட்டப் பெருக்கம் (b) மின்னழுத்தப் பெருக்கம் (c) திறன் பெருக்கம் (d) உள்ளீடு மின் எதிர்ப்பு (e) வெளியீடு மின் எதிர்ப்பு ஆகியவற்றைக் கணக்கிடு.

11. ஒரு டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கிக்கு 500 ஓம். தடையுள்ள மூலத்திலிருந்து சைகை கொடுக்கப்படுகிறது. சுற்றில் பளு மின் தடை 4000 ஓம். $\alpha = 0{\cdot}98$, $\gamma_b = 400$ ஓம், $\gamma_e =$ 100 ஓம். $\gamma_c = 1{\cdot}2$ மெகா ஓம். இச்சுற்றில் (a) மின்னோட்டப் பெருக்கம் (b) மின்னழுத்தப் பெருக்கம் (c) உள்ளீடு,

வெளியீடு மின் எதிர்ப்புகள் ஆகியவற்றைக் கணக்கிடு. [3 வகை செயல்முறை அமைப்புகளுக்கும் கணக்கிட வேண்டும்].

13. ஒரு பொது அடிவாய்ப் பெருக்கியில், உள்மின் தடை 200 ஓம்கள் கொண்ட மூலத்திலிருந்து சைகை கொடுக்கப் படுகிறது. சுற்றில் பளு மின்தடை 500 ஓம்கள் $h_{ib} = 35$ ஓம். $h_{fb} = -0{\cdot}97$, $h_{rb} = 3 \times 10^{-6}$ $h_{ob} = 0{\cdot}8\ \mu$ மோ. இதில் உள்ளீடு மின்தடை, வெளியீடு மின்தடை, மின்னோட்டப் பெருக்கம், மின்னழுத்தப் பெருக்கம் ஆகிய வற்றைக் கணக்கிடு.

14. ஒரு *p-n-p* டிரான்சிஸ்டரின் பொது அடிவாய் *h* பராமீட்டர் கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. $h_{ob} = 0{\cdot}8\ \mu$ மோ. $h_{fe} = 42$, $h_{ib} = 30$ ஓம். $h_{rb} = 4 \times 10^{-4}$ இவற்றைக் கொண்டு h_{fe}, h_{oe}, h_{ie}, h_{re} ஆகியவற்றைக் கணக்கிடு.

15. ஒரு பொது உமிழ்வாய் டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கியானது மின்னோட்ட, மின்னூட்ட நிலையில் இயங்குகிறது. அதன் பொது அடிவாய்க் கலப்பின பராமீட்டர்கள் கீழே கொடுக்கப் பட்டுள்ளன. $h_{ib} = 25$ ஓம், $h_{fe} = 60$, $h_{re} = 10^{-4}$, $h_{ob} = 6{\cdot}4\ \mu$ மோ, $R_1 = 30$ கிலோ ஓம், $R_2 = 10$கி. ஓம், $R_g = 200$ ஓம், $R_c = 5{,}000$ ஓம், $R_e = 2{,}000$ ஓம் இவற்றி லிருந்து (a) மின்னோட்டப் பெருக்கம் (b) மின்னழுத்தப் பெருக்கம் (c) உள்ளீடு, வெளியீடு மின் எதிர்ப்புகள் ஆகிய வற்றைக் கணக்கிடு.

16. பொது அடிவாய் டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கி ஒன்றில் $h_{ib} = 55$ ஓம், $h_{ob} = 0{\cdot}6\ \mu$ மோ. பொது உமிழ்வாய் அமைப்பில் உள்ளீடு மின்தடையும், வெளியீடு மின்தடையும் சமமாக இருக்கவேண்டுமாயின் h_{fb}-ன் மதிப்பு எவ்வளவு இருக்க வேண்டுமெனக் கண்டுபிடி.

15. டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுகள்

பெருக்கிகள்

இதுவரை ஒரு டிரான்சிஸ்டர் எவ்வாறு செயற்படுகிறது என்றும், அது எவ்வாறு பெருக்கும்விளைவைத் தோற்றுவிக்கிறது என்றும் விளக்கப்பட்டது. இப் பகுதியில் டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கிகள் எவ்வாறு அமைக்கப்படுகின்றன என்றும், அவை எவ்வாறு செயற்படுகின்றன என்றும் விரிவாக விளக்கலாம்.

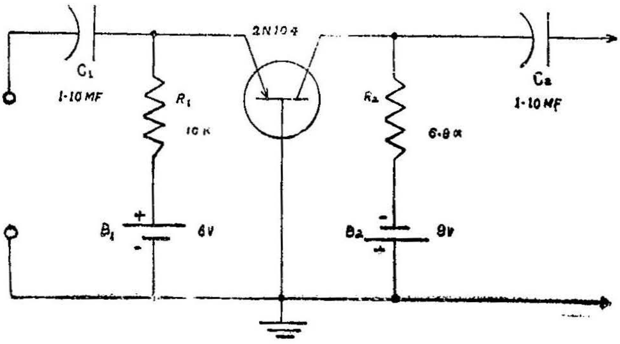
டிரான்சிஸ்டர் வால்வுகளைப்போன்றே மூன்று வெவ்வேறு வகையான அமைப்புகளில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன என்று கண்டோம். அவையாவன. பொது அடிவாய், பொது உமிழ்வாய், பொது ஏற்புவாய் அமைப்புகள் ஆகும். இதில் பொது அடிவாய் அமைப்பு ஓரலகுக்குக் குறைவான மின்னோட்டப் பெருக்கத்தைத்தான் தரும். குறைவான உள்ளீடு மின்மறுப்பை யும், மிகுதியான வெளியீடு மின்மறுப்பையும் கொண்டிருக்கும். இது கட்டவேறுபாடு இல்லாது வெளிவிடு சைகையையும் தர வல்லது. பொது உமிழ்வாய் அமைப்புப் பெருக்கியில் மின்னோட்டப் பெருக்கம் அதிகம். உள்ளீடு மின்மறுப்பு குறைவாக வும், வெளியீடு மின்மறுப்பு மிக அதிகமில்லாமலும் இருக்கும். வெளிவிடு சைகையின் கட்டம் திருப்பப்படுகிறது. பொது ஏற்புவாய் இணைப்பில் உள்ளீடு மின்மறுப்பு அதிகமாயும், வெளியீடு மின்மறுப்பு குறைவாகவும் இருப்பதுடன் சைகை கட்ட வேறுபாடு அடைவதில்லை. இந்த இணைப்பு வால்வில் கேதோடு பின்வருசுற்று (Cathode follower circuit) இணைப்பைப் போன்றது.

பொது அடிவாய்ப் பெருக்கி

ஒரு பொது அடிவாய்ப்பெருக்கியின் சுற்றுப்படம் படம் 15.1-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. இதில் 2N104 என்ற டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கியாகப் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது. இது ஒரு *P-N-P* டிரான்சிஸ்டர். B_1-என்ற மின்கலம் உமிழ்வாய்க்கு முன்னேக்கிய பயாசைத் தருகிறது. B_2-என்ற மின்கலம் (9-வோல்ட்டுகள்)

ஏற்புவாய்க்குத் திருப்பிய பயாசைக் கொடுக்கும். அடிவாய் பொது இணைப்பாக உள்ளது.

உமிழ்வாய்க்குக் கொடுக்கப்படும் சைகை R-C பிணைப்பு முறையில் கொடுக்கப்படுகிறது. R_1-என்பது B_{-1} மின்கலத்திற்கு இணைக்கப்பட்டுள்ள தடை. இது உமிழ்வாய்ப் பகுதியிலுள்ள மின்னோட்டத்தைத் தேவையான அளவு கட்டுப்படுத்தும். இந்த மின்னோட்டம் மிகக் குறைவாக 0.6 மில்லி ஆம்பியர் அளவில் இருக்கும். உமிழ்வாய்க்கும் அடிவாய்க்கும் இடையேயுள்ள மின்னழுத்தம் 0.1 வோல்ட் அளவில் இருக்கும்.



படம் 15.1
பொது அடிவாய்ப் பெருக்கி

ஏற்புவாய்க்கு, B_2-மின்கலத்தோடு தொடர்பாக R_2-என்ற மின்தடை இணைக்கப்பட்டுள்ளது. R_2-தான் இச் சுற்றில் பளுமின் தடையாகும். இதன் முனைகளுக்கிடையே வெளியீடு தோன்றும். இந்த வெளியீட்டை அடுத்த நிலைக்கோ அல்லது வேறொரு சுற்றுக்கோ உள்ளீடாகப் பயன்படுத்திக் கொள்ளலாம். இதற்காகத்தான் C_2-என்ற மின்தேக்கி கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. R_2-ம், C_2-ம் சேர்ந்து R-C இணைப்பாகச் செயற்படும்.

C_1, C_2-என்ற இணைப்பு மின்தேக்கிகளின் மின்தேக்கு திறன்கள் ஒன்றிலிருந்து பத்து மைக்ரோ பாரட் வரை இருக்கலாம். உள்ளீடு மின்மறுப்பு குறைவாக இருக்கவேண்டுமானால் C_1-ன் மதிப்பு மிகுதியாயிருத்தல் வேண்டும். உள்ளீடு மின்மறுப்பு இச் சுற்றில் 200 ஓம்கள் அளவில்தான் இருக்கவேண்டும். இப் பெருக்கி குறைந்த அதிர்வெண்களில் செயற்படும்போதுகூட C_1-கொடுக்கக்கூடிய மின்எதிர்ப்பு 20 ஓம்களுக்குமேல் இருக்கக்

கூடாது. அப்போதுதான் மொத்த மின்மறுப்பு 200 ஓம் அளவுக்கு வரும். எனவேதான், பத்து மைக்ரோ பாரட் அளவுள்ள உயர்மின் தேக்கிகள் உமிழ்வாய்ச்சுற்றில் பயன்படுத்தப்பட வேண்டும்.

செயற்படும் மின்னழுத்தங்கள் குறைவாக இருப்பதால் மின்னாற்பகுப்பு மின்தேக்கிகளை இச் சுற்றில் பயன்படுத்தலாம். இச் சுற்றின் பெருக்குதிறன் அதிர்வெண்களைப் பொறுத்து அமைகிறது. C_1, C_2-மதிப்புகளை மாற்றித் தேவைக்கேற்றவாறு பெருக்குதிறனும் செயற்படும் அதிர்வெண்ணும் இருக்குமாறு அமைக்கலாம். ஒரு மைக்ரோ பாரட் மதிப்புள்ள மின்தேக்கியை C_1 ஆகவோ அல்லது C_2-ஆகவோ பயன்படுத்துவதாகக் கொள்வோம். இது 1 கிலோ ஹெர்சு அதிர்வெண்ணில் ஒரு குறிப்பிட்ட பெருக்கத்தைக் கொடுக்கும். இதே சுற்று 100 ஹெர்ட்சு அதிர்வெண்ணில் செயற்படும்போது பெருக்கம் 80% குறைந்து விடும். அதே நேரத்தில் 10 மைக்ரோ பாரட் பயன்படுத்தப்படுமானால் 55% தான் குறையும். எனவே, உயர்மின் தேக்கிகளைப் பயன்படுத்துவது சிறந்ததாகும். சுற்று எல்லா அதிர்வெண்களிலும் ஓரளவுக்குச் சீராகச் செயற்படும்.

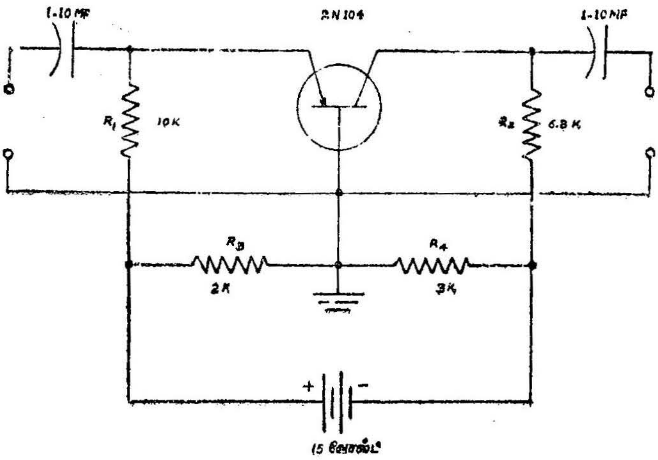
இரு மின்கலன்களைப் பயன்படுத்துவது ஓர் இடையூறாக அமைகிறது. இதனைப் போக்க ஒரு மின்னழுத்த வகுப்பானைப் (divider) பயன்படுத்தலாம். இந்த அமைப்பில் R_3, R_4-என்ற மின்தடைகளைப் பயன்படுத்தி R_3, R_4-இவற்றின் மதிப்பு 2:3 என்ற தகவில் இருக்கும்படி செய்தால், அவற்றிற்கிடையே உண்டாகும் மின்னழுத்தங்களும் அதே தகவில் இருக்கும். 15 வோல்ட் மின்னழுத்த மின்கலத்தினைப் பயன்படுத்தினால் R_3-க்கிடையில் 6 வோல்ட்களும், R_4-க்கிடையில் 9-வோல்ட்களும் தோன்றும்.

R_3-க்கிடையில் நில இணைப்பற்ற முனை நேர்முனையாகவும், R_4-க்கிடையில் எதிர்முனையாகவும் இருக்கும். இது உமிழ்வாய், ஏற்புவாய் இவற்றிற்குச் சரியான திசையுள்ள மின்னழுத்தத்தைக் கொடுத்து, இரு மின்கலங்கள் உள்ள இணைப்பைப்போலச் செயற்படும்படி செய்கிறது.

இந்த மின்னழுத்த வகுப்பான் அமைப்பில் R_3, R_4 ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் குறைவாக இருத்தல் வேண்டும். அப்போதுதாம் உமிழ்வாய், ஏற்புவாய் மின்னோட்டங்களில் ஏற்படும் வேறுபாடுகள் R_3, R_4-இவற்றின் வழியே செல்லும் மின்னோட்டத்தை

யும் அவற்றிற்கிடையேயுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டையும் அதிகமாய் மாற்றுதிருக்கும். அவ்வாறின்றி R_3, R_4 இவற்றின் மதிப்பு மிகக் குறைவாய் இருந்தால், மின்கலத்தில் ஏற்படும் மின்னோட்ட வீழ்ச்சி (drain) மிகுந்துவிடும்.

இவ்விளைவுகள் நடைபெறுவண்ணம் R_3, R_4-ன் மதிப்புகள் தேர்ந்தெடுக்கப்பட வேண்டும். படத்தில் குறிக்கப்பட்டுள்ள மதிப்புகள் இவ்வாறு தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டவை.



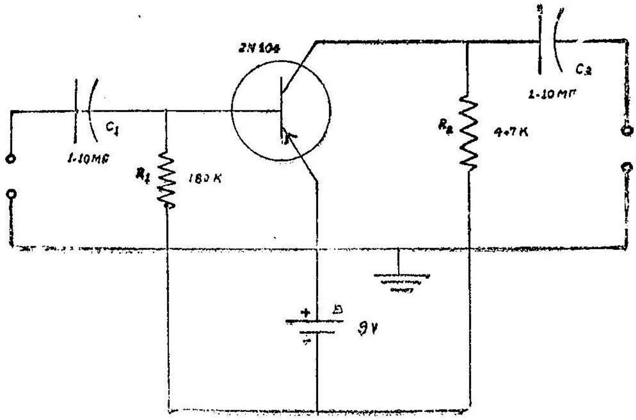
படம் 15.2
ஒற்றை மின்கலத்தைப் பயன்படுத்தும் பொது அடிவாய்ப் பெருக்கி

பொது உமிழ்வாய்ப் பெருக்கி

பொது உமிழ்வாய்ப் பெருக்கிகள், பொது அடிவாய்ப் பெருக்கிகளைவிட மிகுதியாய்ப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. பொது உமிழ்வாய் அமைப்பில் அதிக மின்னோட்டப் பெருக்கமும் அதிகத் திறன் பெருக்கமும் கிடைக்கின்றன. 2N104 டிரான்சிஸ்டரைப் பயன்படுத்தி அமைக்கப்பட்ட ஒரு பொது உமிழ்வாய் அமைப்புப் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. முன் கூறப்பட்ட பெருக்கியில் உள்ளது போன்றே உள்ளீடு, வெளியீடு மின்தடைகளும், மின்தேக்கிகளும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இரு இணைப்புகளிலும் ஒரே மின்கலம்தான் பயன்படுத்தப்படுகின்றது. உள்ளீடு, வெளியீடு இணைப்புகளுக்குப் பொதுவாக உமிழ்வாய் இருப்பதாலும், ஏற்புவாய், அடிவாய் இவையிரண்டிற்கும் உமிழ்வாயைப் பொறுத்து ஒரே திசையுள்ள மின்னழுத்தங்கள் கொடுக்கப்பட

வேண்டியிருப்பதாலும் ஒரே மின்கலம் பயன்படுத்துவது சாத்திய மாகிறது.

படம் 15.3-ல் நடைமுறையில் பயன்படுத்தப்படும் பொது உமிழ்வாய்ப் பெருக்கி கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. படம் 15.4-ல் கொடுக்கப்பட்ட இணைப்பிற்கும் இதற்கும் உள்ள முக்கிய வேறு பாடு, உமிழ்வாய் முனையுடன் R_2-என்ற 500 ஓம் மின்தடையும், C_1-என்ற புறவழி மின்தேக்கியும் இணைக்கப்பட்டிருப்பதேயாகும். டிரான்சிஸ்டர்களுக்கு இடையே ஏற்படும் வேறுபாடுகளை ஈடு செய்தும், வெப்பநிலை வேறுபாட்டால் ஏற்படும் விளைவுகளைக்

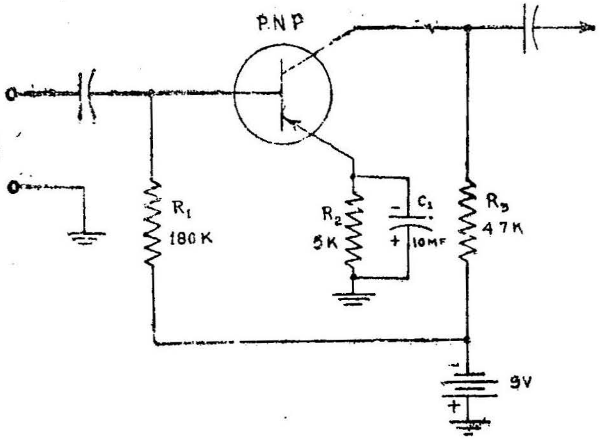


படம் 15.3
பொது உமிழ்வாய்ப் பெருக்கி

குறைத்தும் மின்சுற்றில் $d.c$ வேறுபாட்டினைக் குறைத்து நிலை யாக வைத்திருக்க R_2-பயன்படுகிறது. பெருக்கத்தில் ஏற்படும் குறைவால் உண்டாகும் சீர்கேட்டை நீக்க C_1-என்ற மின்தேக்கி R_1-க்கு இடையே பக்க இணைப்பில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. $A.C$ சீர்கேட்டால் ஏற்படும் நிலைத்தன்மையைப்பெற, C_1ஐ நீக்கி விடலாம்.

வெப்பநிலை மாறுதல்களால் பெருக்கியின் நிலைத்தன்மையில் ஏற்படும் விளைவு, பொது உமிழ்வாய், பொது ஏற்புவாய் மின் சுற்றுகளைவிடப் பொது அடிவாய் மின்சுற்றில் அதிகமாக இருக்கும். இதற்குக் காரணம் முன்பு கூறப்பட்ட வெட்டு (cut off) மின் னோட்டம் I_{co} என்பதே ஆகும். I_{co}-என்பது உமிழ்வாய் மின் னோட்டம் சுழியாகும்போது ஏற்புவாய், அடிவாய் டையோடு களுக்கிடையே செல்லும் மின்னோட்டமே ஆகும். I_{co}-என்பது

10 மைக்ரோ ஆம்பியருக்கும் குறைவாக இருப்பதுடன் அது உமிழ்வாய் மின்னோட்டத்தைப் பொறுத்ததன்று. பயன்படுத்தப் படும் டிரான்சிஸ்டரைப் பொறுத்தும், வெப்பநிலையைப் பொறுத்தும் அதன் மதிப்புத் தீர்மானிக்கப்படும். எனினும், வெப்பநிலையைப் பொறுத்தே பெரும்பாலும் அது நிர்ணயிக்கப் படுகிறது.



படம் 15.4

நிலைத்தன்மை மின்தடை பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள பொது உமிழ்வாய்ப் பெருக்கி

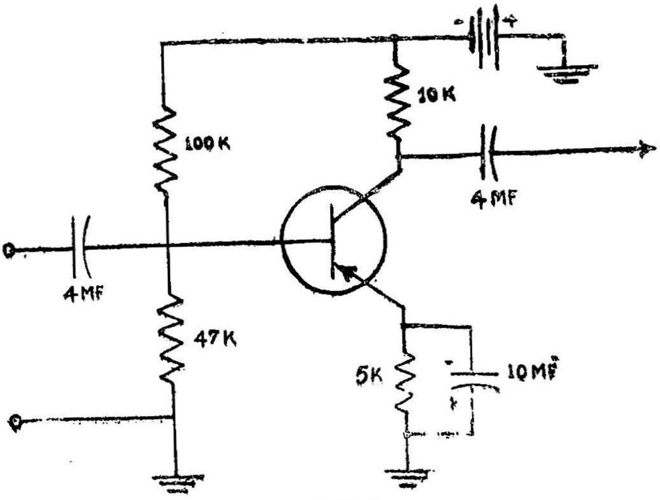
படம் 15.4-ல் கொடுக்கப்பட்டதுபோல் உள்ளீடு, வெளியீடுச் சுற்றுகளுக்குப் பொதுவாக உமிழ்வாய் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் போது செல்லும் ஏற்புவாய் மொத்த மின்னோட்டம் இரு பகுதி களாகும். அவை,

$$I_c = \alpha I_E + I_{co} \qquad \ldots 15.1$$

அதாவது ஒரு சந்தி டிரான்சிஸ்டரில், I_c-என்பது உமிழ்வாய் மின்னோட்டமாகிய I_E-ல் 98 விழுக்காட்டுடன் I_{co}-என்ற ஏற்புவாய் வெட்டு மின்னோட்டத்தையும் கூட்டுவதற்குச் சமம். I_{co} என்ற மின்னோட்டம் மைக்ரோ ஆம்பியரிலும் I_E மில்லி ஆம்பியர் அல்லது அதைவிட அதிகமான அளவிலும் இருப்பதால் I_{co}-ல் ஏற்படும் மாறுதல் மிக அதிகமாக இருந்தாலொழிய ஏற்புவாயில் வெளிவிடப்படும் வெப்பத்தை மிகுதியாக அதி கரிக்காது; அல்லது செயற்படு புள்ளியையும் குறிப்பிடத்தக்க அளவு மாற்றாது. எனவே, இயல்பான முன்னெச்சரிக்கைகளில்

தவிர வேறு ஒன்றையும் பொது அடிவாய்ப் பெருக்கிகள் அமைக்கும் போது கவனிக்க வேண்டிய தேவையில்லை.

படம் 15.4-ல் கொடுக்கப்பட்ட பொது உமிழ்வாய்ச் சுற்றினை எடுத்துக்கொள்வோம். I_{co}, அடிவாய்க்கும், ஏற்புவாய்ப் பகுதிக்கும் சென்றாலும், அடிவாய் மின்னோட்டம் ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தின் அளவைத் தீர்மானிக்கிறது. இத்தொடர்பின் விளைவால் தான் முன்பே, $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$ என்ற இரண்டாவது மின்னோட்டப் பெருக்க எண் பெறப்பட்டது. இப்போது செல்லும் மொத்த ஏற்புவாய் மின்னோட்டம்,



படம் 15.5
நிலைத்தன்மையுடைய மற்றொரு பொது உமிழ்வாய்ப் பெருக்கி

$$I_c = \beta I_B + (I+\beta)\, I_{co} \qquad \ldots 15{\cdot}2$$

முன்பு $(1+\beta)\ I_{co}$ விடப்பட்டு விட்டது. டிரான்சிஸ்டர், அதிகமாய் வேறுபடும் வெப்பநிலை நெடுக்கங்களில் பயன்படுத்தப்படும் போது இந்த மின்னோட்டப் பெருக்க எண்ணின் மதிப்பு, டிரான்சிஸ்டர் செயற்படுவதைக் கடுமையாகப் பாதிக்கக்கூடிய அளவுக்கு அதிகமான அளவு உயர்ந்துவிடும். ஏனெனில், I_{co} வெப்பநிலைக்கு மிக்க உணர்வு நுட்பமுடையது. இந்த மின்னோட்டத்தால் ஏற்படும் அதிகரிப்பு, $(1+\beta)$ இருப்பதால் 50 அல்லது அதிகமான மடங்கு பெருக்கமடையும். இது ஏற்புவாய் மின்னோட்டத்தின்மீது குறிப்பிடத்தக்க விளைவை உண்டாக்குவதுடன்

பயாசு அல்லது செயற்படுபுள்ளியின்மீதும் குறிப்பிடத்தக்க விளைவை உண்டாக்கும். அதாவது செயற்படு புள்ளியை நேர் கோட்டுப் பகுதியினின்று இடப்பெயர்ச்சி அடையச்செய்து உருக்குலைவை மிகுதியாக்கும்.

இந்த விளைவுகள் நடைபெறாமல் தடுக்கவே உமிழ்வாய்ப் பகுதியில் தொடர் மின்தடை R_2 இணைக்கப்படுகிறது. படம் 15.4-ல் கொடுக்கப்பட்ட மின்சுற்றினைப் பயன்படுத்தினால் ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் முழுவதும் உமிழ்வாய் மின்தடை வழியே சென்றுவிடும். R_2-க்கிடையே தோற்றுவிக்கப்படும் மின்னழுத்த வீழ்ச்சி உமிழ்வாயை எதிர்மின்னழுத்தத்தில் இருக்கும்படி செய்கிறது. அடிவாயும் எதிர்மின்னழுத்தத்தில் இருப்பதால், அடிவாய் - உமிழ்வாய் மின்னழுத்தம் V_{BE} R_1-க் கிடையே ஏற்படும் குறைந்த மின்னழுத்த வீழ்ச்சிக்கும் உமிழ்வாய் எதிர் மின்னழுத்தத்திற்கும் உள்ள வேறுபாடு ஆகும். வெப்ப நிலையால் I_{CO}-ன் மதிப்பு உயர்வதால் ஏற்புவாய் மின்னோட்டமும் உயர்வதாகக் கொள்வோம். இது R_2-க்கு இடையே ஏற்படும் மின்னழுத்த வீழ்ச்சியை மிகுதியாக்கி முன்பிருந்ததைவிட மொத்த அடிவாய் - உமிழ்வாய் மின்னழுத்தத்தைக் குறைந்த அளவு எதிர்மின்னழுத்த நிலையில் இருக்கும்படி செய்யும். இது உண்மையில் அடிவாய் - உமிழ்வாய்ச் சுற்றில் முன்னோக்கு பயாசு மின்னழுத்தத்திற்கு எதிராகச் செயற்படுவதால் உமிழ்வாய் மின்னோட்டம் குறைவாகிவிடும். I_C-ல் ஏற்படும் அதிகரிப்பு I_B, I_E ஐ குறைத்து ஈடுசெய்யப்படுகிறது. இம் முறையில் பெருக்கிச் சுற்று நிலைப்பாடுடையதாக இருக்கும்.

படம் 15.5-ல் நிலைப்பாடு ஆக்கப்பட்ட சுற்றின் மாறுபாடுகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. இங்கு அடிவாய், ஒரு மின்னழுத்த வகுப்பானுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த அமைப்பானது முன்பு கூறிய அமைப்பைவிட அதிக நிலைப்பாடு உடையதாக இருக்கும். ஆனாலும் அதிகமாக இணைக்கப்பட்ட மின்தடை மின்கலத்தினின்றும், சைகை மூலத்திலிருந்தும் அதிகத்திறனை எடுத்துக் கொள்ளும். இவ்வகையில் இச் சுற்று குறைந்த (பயனுறு) திறன் உடையதாகும்.

ஒவ்வொரு டிரான்சிஸ்டர் சுற்றும் D.C; A.C என்ற இருவகையான நிலைப்பாட்டுத் தன்மைகளைக் கொண்டிருக்கவேண்டும். D.C நிலைப்பாட்டில், டிரான்சிஸ்டரில் அல்லது மின்சுற்றின் வேறு பகுதிகளின் மதிப்புகளில் ஏற்படும் மாறுதல்களைப் பொறுத்து செயற்படுபுள்ளி மாறாமல் இருக்கச்செய்ய வேண்டும்.

பொதுவாக டிரான்சிஸ்டரில் ஏற்படும் மாறுதல்களே மிக்க இடையூறுகளை உண்டாக்கும். இருந்தாலும், மின்சுற்றிலுள்ள மின்தடைகளின் மதிப்புகளில் ஏற்படும் மாறுதல்களும், மின்சுற்றுச் செயல்முறையில் குறிப்பிடத்தக்க விளைவை உண்டாக்கலாம்.

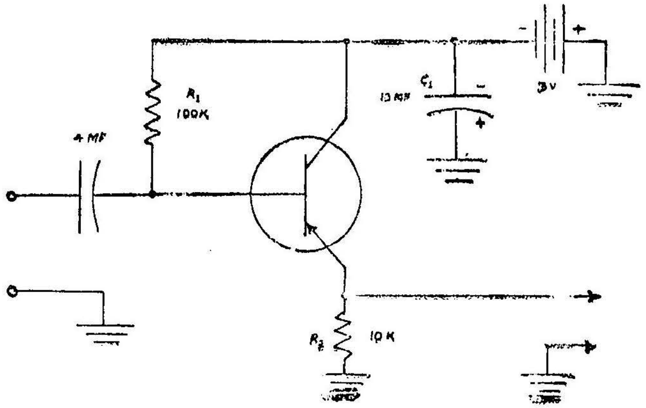
மாறு மின்னோட்ட நிலைப்பாடு என்பது மின்சுற்றின் வழியே செல்லும் எல்லா சைகைகளுக்கும் ஒரே மாதிரியான விளைவை உண்டாக்கும் திறனேயாகும். வெவ்வேறு அதிர்வெண்களுடைய சைகைகள் வெவ்வேறு அளவுப் பெருக்கத்தை அடைவது இயல்பு. இப்போது வேறுபட்ட வீச்சுள்ள சைகைகளைத் தனித்தனியே எடுத்துக்கொள்ளலாம். எடுத்துக்காட்டாக ஒரு நீள்வீச்சுடைய சைகை குறைந்த சைகையைவிட அதிக உருக்குலைவு அடையும். படம் 15·5-ல் 5 கிலோ ஓம் உமிழ்வாய் மின்தடையுடன் பக்க இணைப்பிலுள்ள 10 மைக்ரோ பாரட் மின்தேக்கியை நீக்கிவிட்டால் (மின்தேக்கி இருக்கும்போது கிடைப்பதைவிட) மிகுந்த அதிர்வெண்வீச்சு நெடுக்கத்தில் சைகைகள் சீரான பெருக்கம் அடையும். இந்த அமைப்புத்தான் 'மின்னோட்ட-பின்னூட்டம்' (current feed back) எனப்படுகிறது. இது பின்வரும் ஒரு தலைப்பில் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

பொது ஏற்புவாய்ப் பெருக்கி

ஒரு பொது ஏற்புவாய்ப் பெருக்கியின் படம் (படம் 15·6-ல்) கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. உள்ளீடு சைகை அடிவாய்க்கும் நில இணைப்புக்கும் இடையே தரப்படுகிறது. ஏற்புவாய் C_1- என்ற மின்தேக்கியால் மாறுமின்னோட்ட நிலமின்னழுத்த நிலையில் இருப்பதால் சைகையைப் பொறுத்தவரை அடிவாய்க்கும் ஏற்புவாய்க்கும் இடையே கொடுக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொள்ளலாம். உமிழ்வாய், நில இணைப்பு இவற்றிடையே அல்லது உமிழ்வாய் - ஏற்புவாய் இவற்றிடையேயுள்ள மின்தடையிலிருந்து வெளியீடு எடுக்கப்படுகிறது. இந்தச் சுற்றில் 100 கிலோ ஓம்களுக்கும் அதிகமான உள்ளீட்டுக் கூட்டுமின்தடையும் 200 ஓம்கள் அளவுள்ள வெளியீட்டுக் கூட்டுமின்தடையும் உள்ளன.

பொது ஏற்புவாய்ப் பெருக்கியின் மின்னழுத்தப் பெருக்கம் ஒன்றைவிட அதிகமாக இருக்கமுடியாது. மேற்கூறிய மின்சுற்றில் அது 0.9 ஆகும். ஆயினும் திறன்பெருக்கம் 15 ஆகும். மின்னழுத்தப்பெருக்கம் அதிர்வெண்ணைப் பொறுத்ததன்று. ஆனால், பொது உமிழ்வாய்ப் பெருக்கியில் ஏற்படுவது போல் மின்னோட்டப் பெருக்கம் அதிர்வெண்ணுடன் குறைந்து

கொண்டே செல்லும். ஆதலால், அதிர்வெண்ணுடன் திறன் பெருக்கக்குறைவு பொது அடிவாய்ப் பெருக்கி, பொது உமிழ் வாய்ப் பெருக்கி இவற்றிற்கு இடைப்பட்டதாக இருக்கும்.



படம் 15.6
பொது ஏற்புவாய்ப் பெருக்கி

உமிழ்வாயில் இணைக்கப்பட்டுள்ள 47 கிலோ ஓம் மின் தடையே பளுத்தடை ஆகும். இதைத்தவிர உமிழ்வாய்க்கும் அடிவாய்க்கும் இடையே C_2-ஆல் தோற்றுவிக்கப்பட்ட ஒரு பின்னூட்டம் ஏற்படுகிறது. அடிவாய் மின்னழுத்த வகுப்பானுடைய குறுக்கிணைப்பு விளைவைக் (Shunting effect) குறைக்கும் படியாக அது அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த மின்சுற்று 'பூட் ஸ்ட்ராப்' (Boot strap) சுற்று என்றும் சொல்லப்படும்.

பொது ஏற்புவாய்ப் பெருக்கியின் மின்னோட்டப் பெருக்கத்தைப் பெறுவது எளிதாகும் உள்ளீடு சைகை அடிவாய்க்குத் தரப்படுவதால் உள்ளீடு மின்னோட்டம் I_B ஆகும்.

பளுத்தடை உமிழ்வாய் முனையில் இணைக்கப்பட்டிருப்பதால் வெளியீடு மின்னோட்டம் I_E ஆகும். ஆதலால் மின்னோட்டப் பெருக்கம்,

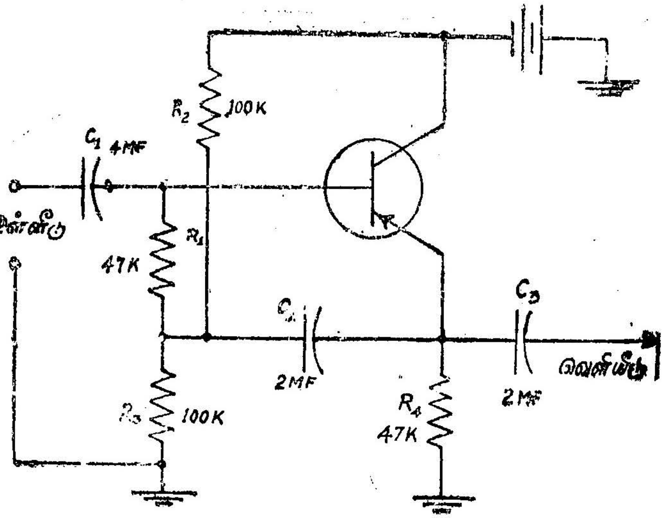
$$\frac{I_E}{I_B} = \frac{I_B + I_c}{I_B} \quad \ldots 15.3$$

$$= 1 + \frac{I_c}{I_B} \quad \ldots 15.4$$

எனவே, மின்னோட்டப் பெருக்கம் $= 1+\beta$ .. 15.5

ஆனல் β பொதுவாக 30க்கும் அதிகமாய் இருப்பதால், இந்த மின்னேட்டப் பெருக்கம் β-க்குச் சமமாய் எடுத்துக்கொள்ளலாம். ஆதலால், பொது உமிழ்வாய், பொது ஏற்புவாய்ப் பெருக்கிகள் ஏறத்தாழ ஒரே மின்னேட்டப் பெருக்கத்தைக் கொடுக்கிறது.

ஒரு பொது ஏற்புவாய் அடுக்கினுடைய உள்ளீடு மின்மறுப்பு (impedance) ஏறத்தாழ βR_L-க்குச் சமம். இதைக் கீழ்க்கண்ட வாறு கணக்கிடலாம். இந்த அடுக்கினுடைய உள்ளீடு மின் மறுப்பு R_i என்பது, உள்ளீடு மின்னழுத்தத்தை உள்ளீடு மின்னேட்டத்தால் வகுக்கக் கிடைக்கும்.



படம் 15.7
பொது ஏற்புவாய் அமைப்பில் மற்றொரு சுற்று

படம் 15·8-லிருந்து உள்ளீடு மின்னழுத்தம் = $V_{EB}+V_o$ (இந்த மின்னழுத்தங்கள் இரண்டும் பளுத்தடைக்கு ஒரே திசையில் இருப்பதால் அவை கூட்டப்பட்டுள்ளன). எனவே,

$$R_i = \frac{V_{EB} + V_o}{I_B}$$ V_o-வெளியீடு மின்னழுத்தம்.

$$= \frac{V_{EB}}{I_B} + \frac{V_o}{I_B} \qquad \ldots\ 15 \cdot 6$$

இப்போது $\frac{V_{EB}}{I_B}$ என்பது அடிவாய்க்கும் உமிழ்வாய்க்கும் இடையேயுள்ள அகமின்தடை R_{BE} ஆகும். இந்த சந்தி,

முன்னோக்கு பயாசில் இருப்பதால் இதன் மதிப்பு மிகக்குறைவு. $\frac{V_o}{I_B}$-என்பது மின்சுற்றையும், டிரான்சிஸ்டரையும் பொறுத்த தாகும். இதற்குமுன் $\frac{I_E}{I_B} = 1 + \beta$ அல்லது ஏறத்தாழ β-க்குச் சமம் என்று குறிப்பிடப்பட்டுள்ளது.

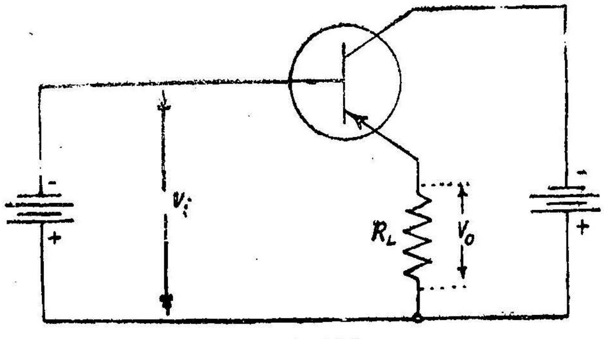
இதிலிருந்து, $\frac{V_o}{I_B} = \frac{\beta V_o}{I_E}$ என்று எழுதலாம்.

ஆனால், $\frac{V_o}{I_E} = R_L$ ... 15·7

எனவே, $\frac{V_o}{I_B} = \beta R$ ... 15·8

இதைச் சமன்பாடு 15 6-ல் பொருத்த,

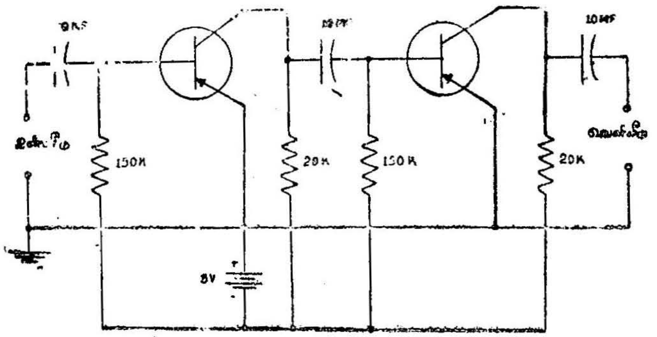
$$R_i = R_{BE} + \beta R_L$$
$$\cong \beta \cdot R_L \qquad \text{...15·9}$$



படம் 15.8

இதிலிருந்து, உள்ளீடு மின்மறுப்பு மிகுதியாக இருப்பதற்கு R_L-ன் மதிப்பு மிகுதியாக இருக்கவேண்டுமெனத் தெரிகிறது. அதாவது, பொது ஏற்புவாய்ப் பெருக்கிகளுக்குச் செயற்படும் பயாசு மின்னோட்டம் முடிந்த அளவு குறைவாகப் பயன்படுத்தப் படவேண்டும் என்று தெரிகிறது. இல்லாவிடில் R^L-க்கிடையே நேர்மின்னழுத்த ($d \cdot c$) வீழ்ச்சி மிக அதிகமாகிப் பயாசு கொடுக்கும் மின்னழுத்தம் மிக அதிகமாகத் தேவையாகிவிடும்.

R_i - என்பது R_L. β-இவற்றுல் மட்டுமன்றி அடிவாயுடன் இணைக்கும் எந்த மின்தடையாலும் கட்டுப்படுத்தப்படுகிறது. இவ்வாருக அடிவாய்ப் பயாசு மின்னேட்டம் ஒரு குறைந்த மதிப்புள்ள மின்தடைவழியே இப் பகுதியை அடைந்தால் உள்ளீடு மின்மறுப்பு அதற்கேற்றுற்போல் குறைக்கப்படும். ஏனெனில், அந்த மின்தடை உள்ளீடு மின்சுற்றை இணைத்தடமாக இணைத்துவிடுகிறது. மேலும், அடிவாய்க்குக் குறுக்கேயுள்ள மின்சுற்று மின்தேக்குதிறன், குறிப்பாகச் செயற்படு அதிர்வெண் அதிகரிக்கும்போது உள்ளீடு மின்மறுப்பு பாதிக்கப்படும். இது வால்வுப் பெருக்கிகளைப்போன்றே டிரான்சிஸ்டர்ப் பெருக்கிகளுக்கும் பொருந்தும்.



படம் 15.9

பொது உமிழ்வாய் அமைப்பில் R.C இருநிலைப்பெருக்கி

எடுத்துக்காட்டாக 16 கிலோ ஹெர்ட்ஸ் அதிர்வெண்ணில் 10 மைக்ரோ பாரட் மின்தேக்கி, 1 மெகா ஓம் மின்மறுப்பைக் கொடுக்கும். 100 கிலோ ஹெர்ட்சு அதிர்வெண்ணில் மின் தேக்கியின் மின்மறுப்பு 0·16 மெகா ஓம் வரை குறைந்து விடுகிறது. 10 மைக்ரோ பாரட் மின்தேக்குதிறன் மிகக் குறைவு மின்சுற்றுக் கம்பிகளுக்கிடையே ஏற்படும் மின்தேக்குதிறனுல் மட்டுமே உண்டாக்கப்படுகிறது என்பதை நினைவில் கொள்ள வேண்டும். எனவே, அத்தகைய அடுக்குகளை உருவாக்கும் போதும், அமைக்கும் போதும் மிகத் துல்லியமாகச் செய்ய வேண்டும். ஆனுல், பொது அடிவாய், பொது உமிழ்வாய்ப் பெருக்கிகள் குறைந்த உள்ளீடு மின்மறுப்பு மதிப்புகளைக் கொண்டவை. எனவே, உள்ளீடு மின்மறுப்பினைப் பாதிப்பதற்கு மிக அதிகமான இணைத்தட மின்தேக்குதிறன் தேவைப்படும்.

β-என்பது h_{FE} அல்லது h_{fe}-என்பனவற்ருலும் குறிக்கப்படும். h_{FE}-என்பது நேர்மின்னேட்ட β-வையும் h_{fe} என்பது மாறு மின்னேட்ட β-வையும் (கலப்பினப் பராமீட்டர்கள்) குறிப்பிடும்.

இதுவரை பொது அடிவாய் அமைப்பு, பொது உமிழ்வாய் அமைப்பு, பொது ஏற்புவாய் அமைப்பு ஆகியவற்றில் செயற் படும் பெருக்கிகளின் செயல்கள்பற்றி விளக்கப்பட்டது. இவற் றின் பண்புகள் 528 ஆம் பக்க அட்டவணையில் ஒப்பிடப் பட்டுள்ளன.

இருநிலை பெருக்கிகள்.

டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கி ஒற்றையாகப் பெரும்பாலும் பயன் படுத்தப்படுவதில்லை. ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட டிரான்சிஸ்டர்கள் இரண்டு அல்லது மூன்று நிலைகளில் அடுத்தடுத்துச் செயற்படுமாறு இணைக்கப்படுகின்றன. வால்வுபெருக்கிகளை இவ்வாறு இணைப்பது எளிதாக இருக்கலாம். ஏனெனில், ஒரு வால்வுபெருக்கியில் உள்ளீடு மின்மறுப்பானது வெளியீடு மின்மறுப்பைவிட மிகுதி யாக இருக்கும். இருநிலை பெருக்கிகளை அமைக்கும்போது முதல் நிலையின் வெளியீடு அடுத்தநிலையின் உள்ளீடாகச் செயற்படும்படி இணைக்கப்படுகிறது.

பொது உமிழ்வாய்முறையில் அமைக்கப்பட்ட ஒரு டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கியை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் உள்ளீடு மின்மறுப்பு ஏறத்தாழ 1 கிலோ ஓம்கள் ஆகும். வெளியீடு மின்மறுப்பு ஏறத்தாழ 10 கிலோ ஓம்கள் முதல் 20 கிலோ ஓம்கள் வரை இருக்கும். அடுக்குகளை நேரடியாக இணைக்கும்போது, பொருத்தமற்ற இணைப்பால் பெருக்கம் குறிப் பிடத்தக்க அளவு குறைந்துவிடும். இவ்வாறு பெருக்கம் குறைந்துவிடுவதால் தேவையான அளவு பெருக்கத்தைப்பெற மேலும்மேலும் பலநிலைகளை அமைக்கவேண்டியிருக்கும். அவ்வாறு இல்லாமல் வேறுமுறையில் இதனைச் சரிசெய்யலாம். ஒரு நிலையின் மிகுந்த வெளியீடு மின்மறுப்பை அடுத்தநிலையின் குறைந்த உள்ளீடு மின்மறுப்புடன் பொருந்தும்படியாக அமைக்க ஒரு மின்மாற்றி பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஆனல், இந்தப் பெருக்கி $R.C$ இணைப்பிலிருப்பதுபோல நீள் அதிர்வெண் நெடுக்கத்தில் செயற்படாது.

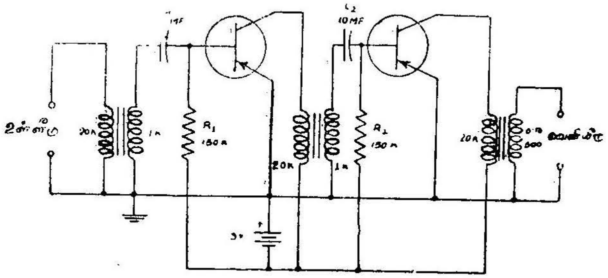
அடுத்து, ஒரு R-C பிணைப்புக்கொண்ட இருநிலை பெருக்கியை எடுத்துக்கொள்வோம். இது பொது உமிழ்வாய் அமைப்புக் கொண்டது. இதன் முதல்நிலை உள்ளீடு சுற்றில் 10 மைக்ரோ

அட்டவணை

பண்புகள்	பொது அடிவாய் அமைப்பு	பொது உமிழ்வாய் அமைப்பு	பொது ஏற்புவாய் அமைப்பு
டிரான் சிஸ்டரின் மின் தடை	வெளியீடு மின் தடை பெருமளவு மிகுதியாக 1. மெகா ஓமிலிருந்து 2. மெகா ஓம்வரை இருக்கும்.	வெளியீடு மின் தடை 50 கிலோ ஓம் அளவில் இருக்கும்.	வெளியீடு மின் தடை மிக மிகக் குறைவாக 100 ஓமிலிருந்து 1000 ஓம் வரை தான் இருக்கும்
	உள்ளீடு மின் தடை மிக மிகக் குறைவாக 20 ஓமிலிருந்து 50 ஓம் வரை இருக்கும்.	உள்ளீடு மின் தடை 1 கிலோ ஓமிலிருந்து 2 கிலோ ஓம்வரை இருக்கும்.	உள்ளீடு மின் தடை மிக மிக அதிகமாக 150 கிலோ ஓமிலிருந்து 600 கிலோ ஓம்வரை இருக்கும்.
மின் னோட்டப்பெருக்கம்	ஏறத்தாழ மின் னோட்டப்பெருக்கமே இருக்காது. 0.85- லிருந்து 0 99வரை இருக்காலம்.	மிகுந்த மின் னோட்டப்பெருக்கம இருக்கும். 20-லிருந்து 200 வரை இருக்கும்.	இதிலும் மின் னோட்டப்பெருக்கம 20-லிருந்து 200-வரைமிகுதியாயிருக்கும்.
மின்னழுத்தப்பெருக்கம்	அடிவாய்க்கும், ஏற்பு வாய்க்குமிடையே தடைப் பெருக்கம் இருப்பதால் மின்னழுத்தப் பெருக்கமஓரளவு இருக்கும்.	மிகுந்த மின்னழுத்தப் பெருக்கம் உடையது.	மின்னழுத்தப் பெருக்கம் எப்போதும்ஒன்றை விடக்குறைவாக இருக்கும்.
திறன் பெருக்கம்	குறைந்த திறன் பெருக்கம் உடையது.	பெருமளவு திறன் பெருக்கம் உடையது.	மற்ற சுற்றுகளை விடத்திறன் பெருக்கம் குறைவாக இருக்கும்.
உள்ளீடுவெளியீடு இவைகளின் கட்டக் கோணம்	கட்டம் மாறுபடுவதில்லை.	உள்ளீடுக்கும், வெளியீடுக்கும் 180° கட்ட வேறுபாடு இருக்கும்.	கட்டம் மாறுபடுவதில்லை.

பாரட் கொண்ட ஓர் இணைப்பு மின்தேக்கி உள்ளது. இதன் வெளியீடு ஏற்புவாய் மின்தடை 20 கிலோ ஓம் முனைகளிடையே வெளிவருகிறது. இது அடுத்த நிலைக்கு உள்ளீடாக R-C பிணைப்பில் கொடுக்கப்படுகிறது. இதற்காக மற்றொரு 10 மைக்ரோ பாரட் மின்தேக்கியும் 150 கிலோ ஓம் மின்தடையும் உமிழ்வாய்-அடிவாய்க்கிடையே இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்த இருநிலைப்பெருக்கியானது படம்15.9-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

R-C பிணைப்புக்குப் பதிலாக ஒரு மின்மாற்றியைப் பயன் படுத்தி இதேபோன்று இருநிலைப் பெருக்கியை அமைக்கலாம். இதன் சுற்றுப் படம், படம் 14.10-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 15.10
மின்மாற்றிப் பிணைப்புடைய இருநிலைப் பெருக்கி

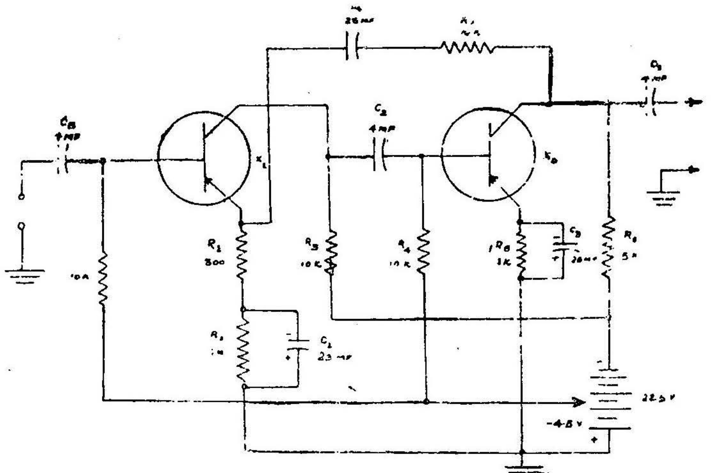
டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கிகளில் எதிர்ப் பின்னூட்டம்

வால்வுப்பெருக்கிகளில் உள்ளதைப்போன்று டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கிகளிலும் எதிர்ப்பின்னூட்டம் கொடுக்கப்படலாம். பெருக்கியின் நிலைப்பாட்டை மிகுதியாக்குவதுடன் உருக் குலைவைக் குறைக்கவும், உள்ளீடு மின்மறுப்பை அதிகரிக்கவும், பல்வேறு டிரான்சிஸ்டர்களினால் ஏற்படும் பெருக்கமாறுபாடு களைக் குறைக்கவும் எதிர்ப்பின்னூட்டம் பயன்படுகிறது. இதில் கடைசியாகக் கூறப்பட்ட பயன் டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கிகளில் மிகவும் முக்கியமானது. ஏனெனில், ஒரேவகையான டிரான் சிஸ்டர்களில் பண்புகள் வேறுபடுவதுண்டு. முன்பு இருந்ததைவிடத் தற்போது ஒரே சீரான பண்புகளையுடைய டிரான்சிஸ்டர்கள் தயாரிக்கப்படுகின்றன. இருப்பினும் சிறிதளவு வேறுபாடுகள் இருப்பதால் இவ் வேறுபாடுகளால் ஏற்படும் பெருக்கியின் செயல் திறனில் ஏற்படும் மாறுதல்களைக் குறைக்க இந்த எதிர்ப் பின்னூட்டம் பயன்படுகிறது. இவ்வாறு எதிர்ப்பின்னூட்டம் கொடுக்கப்படுவதால் பல மேம்பாடுகள் இருக்கும். ஆனாலும் சில

தீமைகள் ஏற்படுகின்றன. டிரான்சிஸ்டர்கள் கொடுக்கும் மிகுந்து கொண்டே செல்லும் மின்னழுத்தப் பெருக்கங்களினுல் இத்தீமை களைப் பொருட்படுத்த வேண்டியதில்லை. தேவையானதைவிட அதிகமான பெருக்கம்.கிடைக்கிறது.

எதிர்ப்பின்னூட்ட இணைப்பின் எளிய அமைப்பில் உமிழ் வாய் முனையில் உள்ள D.C நிலைப்பாடு மின்தடை புறவழி செல்லாமல்—மின்தேக்கி இணைப்பின்றிச் செய்யப்படுகிறது.

எதிர்ப்பின்னூட்டத்தின் மற்றொருமுறை படம் 15·11-ல் காட்டப்பட்டுள்ள இருநிலைப் பெருக்கியில் பயன்படுத்தப் பட்டுள்ளது. இதில் பின்னூட்ட இணைப்பு T_2-ன் வெளியீட்டுச் சுற்றிலிருந்து T_1-ன் உமிழ்வாய்ச் சுற்றுக்குக் கொடுக்கப்படுகிறது, இந்தப் பின்னூட்டத்திற்கு R_1, R_2-என்ற இரு மின்தடைகளும் C_4-என்ற மின்தேக்கியும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. T_1-ன் வெளியீட்டுச் சுற்றுக்குப் பின்னூட்ட ஆற்றலைச் செலுத்தும் வழியாக R_1 செயற்படுகிறது. எனவே, R_1 புறவழி மின்தேக்கி இணைக்கப்படாமல் ஆனுல் அதே உமிழ்வாய்ச் சுற்றில் R_2, C_1-



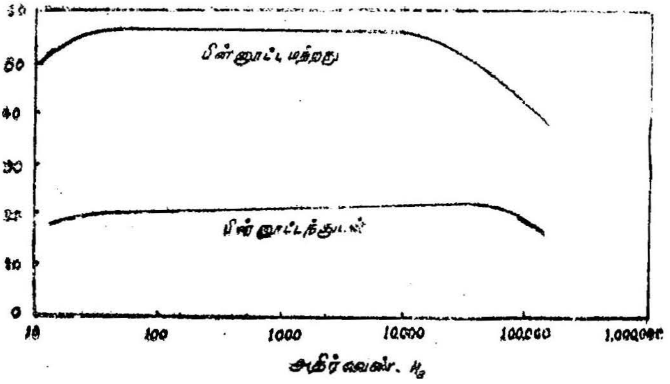
படம் 15·11
எதிர்ப்பின்னூட்டம் பெற்ற இருநிலைப் பெருக்கி

ஆல் மாற்றுவழிப்படுத்தப்பட்டுள்ளதால் இவ்விரு இணைப்பகுதி களின் மூலமாய்ப் பின்னூட்ட மின்னழுத்தம் உண்டாகாது. எனினும் R_2, T_1-க்கும் R_5, T_2-க்கும் நேர்மின் நிலைப்பாட்டைக் கொடுக்கின்றன. மின்னழுத்த எதிர்ப்பின்னூட்டத்தில்

பின்னூட்டப்படும் சைகையின் கட்டம் கொடுக்கப்படும் சைகையின் கட்டத்திற்கு 180° கட்டவேறுபாடு உடையதாக இருக்க வேண்டும். சைகையின் திசைகள் படம் 15·11-ல் காட்டப் பட்டுள்ள மின்சுற்றில் மேற்கூறிய நிபந்தனைப்படி இருக் கின்றன.

T_1-ன் அடிவாய்க்குக் கொடுக்கப்படும் சைகை ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் நேர்த்திசையிலிருந்தால் இந்த டிரான்சிஸ்டரின் ஏற்பு வாயில் சைகை மின்னழுத்தம் எதிர்த்திசையில் இருக்கும். இது பொது உமிழ்வாய்ப் பெருக்கியில் ஏற்படும் 180° கட்ட வேறு பாட்டினால் ஏற்படுவதாகும்.

T_1-ன் ஏற்புவாயில் கிடைக்கும் எதிர்ச்சைகை T_2-வினுடைய அடிவாயிலும் எதிர்த்திசையிலேயே உள்ளது. இதனால் T_2-ன் ஏற்பு வாயில் நேர்ச்சைகை உண்டாகிறது. இச் சைகையில் ஒருபகுதி T_1-ன் உமிழ்வாய்க்குப் பின்னூட்டப்படுகிறது. எனவே,



படம் 15.12

அதிர்வெண் மாறும் முறையில் பின்னூட்டத்தின் விளைவு

அடிவாயில் ஒரு நேர்ச்சைகையும் உமிழ்வாயில் சிறிதளவு நேர்ச் சைகையும் கிடைக்கின்றன. உமிழ்வாய், அடிவாய் வழியே மின்னோட்டத்தைச் செலுத்துவதில் இவ் விரு மின்னழுத்தங்களும் எதிரெதிராகச் செயற்படுவதால் எதிர்ப்பின்னூட்டம் கிடைக் கிறது.

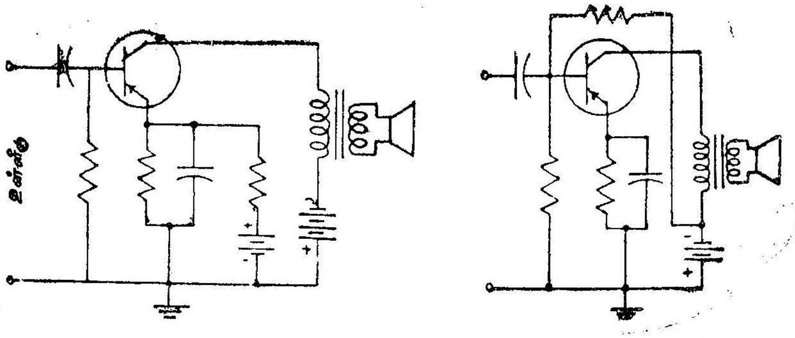
படம் 15·12-ல் அதிர்வெண் மாறும் விதத்தின்மீது எதிர் மின்னூட்டத்தின் விளைவு விளக்கப்பட்டுள்ளது. பின்னூட்டத்தில்

வளைகோடு எவ்வளவு தட்டையாக்கப்பட்டுள்ளது என்பது காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

திறன் பெருக்கிகள்

எல்லா டிரான்சிஸ்டர்களும் மின்னோட்டத்தால் செயற்படும் கருவிகளாதலால், எல்லாமே திறன் பெருக்கிகளாயும் பயன்படும். ஆம்பியர்கள் அளவில் மின்னோட்டங்களைத் தோற்றுவிக்கும் பெருக்கிகளை உயர் திறன் மிக்க பெருக்கிகள் எனக் கொள்ளலாம்.

டிரான்சிஸ்டர் சந்தியில் தோற்றுவிக்கப்படும் வெப்பம் செயற்படும் முறை, பயாசு அளவு, டிரான்சிஸ்டருக்குக் கொடுக்கப்படும் சைகை, கொடுக்கப்படும் சைகையின் அலையமைப்பு இவற்றைப் பொறுத்துத்தான் திறன் பெருக்கம் அமையும்.



படம் 15.13
இரு *A* வகைத் திறன் பெருக்கிகள்

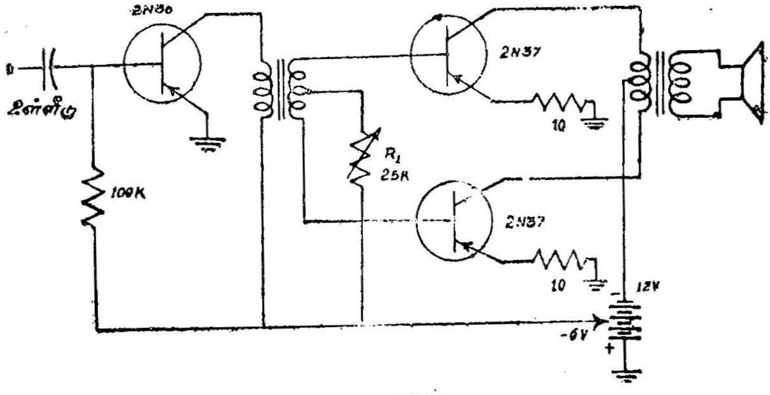
A-வகைத்திறன் பெருக்கி

ஒருமுனையுள்ள திறன் பெருக்கிகளுக்கான மின்இணைப்பு, அவற்றையொத்த பெருக்கிகளைப் போன்றதே. படம் 15.13-ல் ஒரு செவியுணர் பெருக்கியின் (ரேடியோ) ஒலிப்பானை இயக்கும்படியான இரு *A*-வகைத் திறன்பெருக்கிகள் காட்டப்பட்டுள்ளன. ஒன்றில் இரு மின்கலன்களும் மற்றொன்றில் ஒரே மின்கலமும் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளன. வெளியீடு மின்மாற்றி, ஏற்புவாயின் மின்மறுப்புடனும், ஒலிப்பானின் மின்மறுப்புடனும் பொருந்தும்படியாக அமைக்கப்படவேண்டும். இவ் வமைப்பிலிருந்து கிடைக்கும் திறன், மின்கலத்தின் அளவு, டிரான்சிஸ்டரிலேயே வீணாகும் அதிக அளவு ஆற்றல் இவற்றைப் பொறுத்தது.

வால்வைப்போல ஒற்றை-முனைத்திறன் பெருக்கி *A*-வகையில் மட்டும்தான் இயங்கும்.

திறன் பெருக்கிகள் தள்ளு இழுவைப் பெருக்கிகளாயும் (push pull Amplifiers) செயற்படும். படம் 15.14-ல் ஒற்றை ஓட்டுநிலை (driver stage) பயன்படுத்தப்படும் செவியுணர் பெருக்கி காட்டப் பட்டுள்ளது. இது *A*-வகைத் தள்ளு. இழுவை வெளியீடு கொண்டது. எல்லா டிரான்சிஸ்டர்களும் பொது உமிழ்வாய் அமைப்புகளாகச் செயற்படுகின்றன. ஓட்டுநிலை, வெளியீடு நிலை இவற்றிற்கிடையேயும், ஒலிப்பான், வெளியீடு நிலை இவற்றிடையேயும் இரு மின் மாற்றிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. R_1-என்ற மாற்று மின்தடை, மொத்த ஏற்புவாய் மின்னோட்டம் 8-மில்லி ஆம்பியர் இருக்கும்படியாகச் சரிசெய்யப்படுகிறது.

தள்ளு இழுவைப்பெருக்கியின் செயல்முறை அந்த அடுக்கிற்குள் இரட்டை அடுக்குச் சுரங்களை நீக்கிவிடுகிறது. அதே அளவு உருக்குலைவுடன் ஒரு *A*-வகைத் தள்ளிழுவைப் பெருக்கி, அதிகமான வெளியீடு உண்டாகும்படி செய்யலாம். எனவே, இரு



படம் **15.14**
ஒரு தள்ளு-இழுவை திறன்பெருக்கி

ஒத்த டிரான்சிஸ்டர்களை-முனை டிரான்சிஸ்டர்களாய்ப் பயன்படுத்துவதைவிட, தள்ளு-இழுவை செயல்முறையில் அதிக வெளியீடு கொடுக்கும்படி செய்யலாம்.

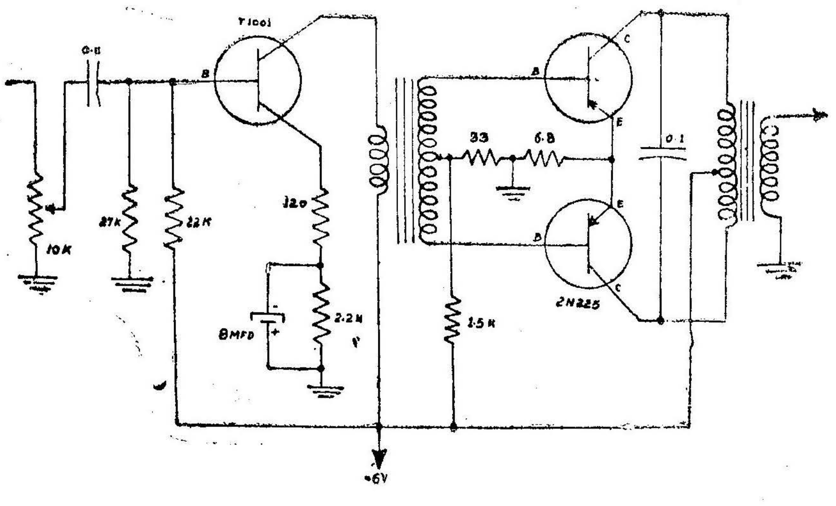
B-வகைத் திறன் பெருக்கிகள்

A-வகைத் தள்ளு இழுவைச் செயல்முறையில் சைகை கொடுக்கப்பட்டாலும் இல்லாவிடினும் அதன்வழியே செல்லும் சராசரி

மின்னேட்டம் நிலையாக இருக்கும். ஒவ்வொரு டிரான்சிஸ்டருக்கும் வெட்டு பயாசு கொடுக்கப்படும். *B*-வகைச் செயல்முறை இதைவிடத் திறன்மிக்கதாகும். ஏனெனில், சைகை கொடுக்கப் படாதபோது மின்னேட்டம் செல்லாததால் திறன் வீணுவதில்லை.

B-வகைத் தள்ளிழுவைப் பெருக்கி படம் 15.15-ல்காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் மூன்று திறன் டிரான்சிஸ்டர்கள் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. முதல் டிரான்சிஸ்டர் *A*-வகை ஓட்டும் பெருக்கியாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. மற்ற இரண்டும் *B*-வகை வெளியீட்டு அமைப்பாகச் செயற்படுகின்றன.

B-வகை அமைப்பின் பயனுறு திறன் ஏறத்தாழ 75 விழுக்காடு ஆகும். வெட்டுமதிப்பிற்கு அருகில் பயாசு கொடுக்கப்பட்டிருப்பதால் *B*-வகை ஏற்புவாய் மொத்த மின்னேட்டம் சைகை கொடுக்கப்படாதபோது மிகக் குறைவாக இருப்பதே இதற்குக் காரணம் ஆகும். *A*-வகைப் பெருக்கியில் சைகை இருந்தாலும் இல்லாவிடினும் குறிப்பிடத்தக்க அளவு ஏற்புவாய் மின்னேட்டம் செயற்படுவதால் அதன் பயனுறு திறன் இதில் அரைப்பகுதி அல்லது அதற்கும் குறைவாயிருக்கும்.



படம் 15.15

B—வகையில் செயற்படும் தள்ளு—இழுவைத் திறன் பெருக்கி

முதல் செவியுணர் பெருக்கியின் அடிவாய்க்கு உள்ளீடு சைகை கொடுக்கப்படுகிறது. இந்த ஓட்டுநிலை உமிழ்வாய்ச் சுற்றிலுள்ள

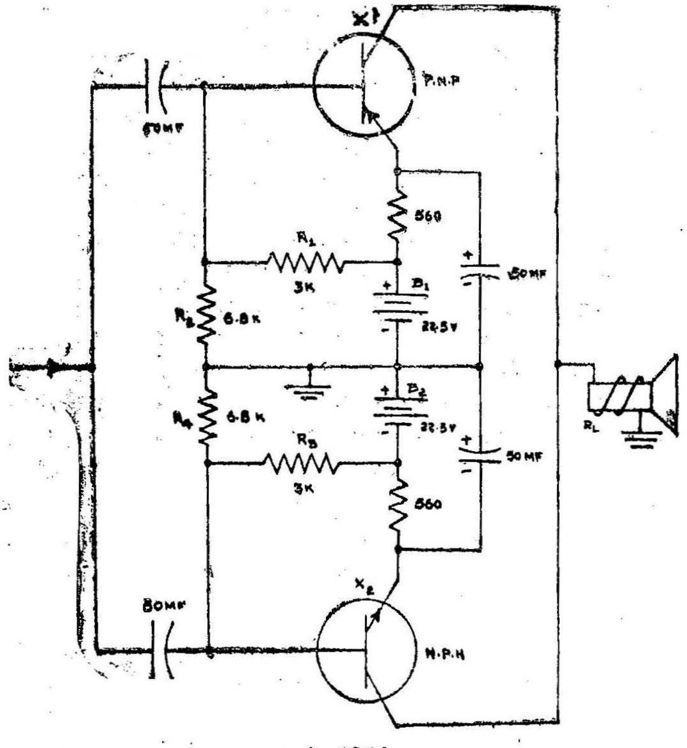
2,200 ஓம் மாற்றுவழி மின்தடை வெப்பநிலைப்பாட்டை மட்டும் கொடுக்கிறது. அது சைகைக் குலைவைத் தோற்றுவிப்பதில்லை. எனினும், இதற்குமேல் மாற்றுவழிப்படுத்தப்படாத 120 ஓம் மின்தடைச் சைகைக் குலைவைக் கொடுக்கிறது.

இந்த ஓட்டும்பகுதியின் வெளியீடு *B*-வகைப் பெருக்கியுடன் மின்மாற்ற இணைப்புக்கொண்டது. இதனால் தேவையான பொருந்துமான மின்மறுப்புக் கிடைக்கிறது. அத்தோடு, (*B*-வகைப் பெருக்கிக்குத் தேவையான) 180° கட்டவேறுபாட்டிலுள்ள இரு சைகைகள் கிடைக்கின்றன. மின்சுற்றின் நிலைப்பாட்டை அதிகரிக்கத் தேவையான சிறிய அளவு சைகைக்குலைவை வெளியீட்டு அமைப்பின் உமிழ்வாய்ச் சுற்றிலுள்ள 6.8 ஓம் மின் தடை கொடுக்கிறது. அடிவாய்ச் சுற்றிலுள்ள 33 ஓம் மின் தடைக்கு இடையே 6 வோல்ட் எதிர்மின்னழுத்த மூலத்திலிருந்து சிறிய மின்னழுத்தம் தோன்றுகிறது. இந்த மின்னழுத்தம் குறுக்கீடு (cross over) உருக்குலைவைக் குறைக்கிறது. இரு வெளியீட்டு டிரான்சிஸ்டர்களின் ஏற்புவாய்ப் பகுதிகளும் வெளியீடு மின்மாற்றியின் எதிர்முனைகளுக்கு இணைக்கப்பட்டிருக் கின்றன. மைய இணைப்புமுனையில் நேர் மின்னழுத்தம் கொண்டு வரப்படுகிறது. வெளியீட்டு மின்மாற்றியுடன் இணைக்கப்பட் டுள்ள 0.1 மைக்ரோ வோல்ட் மின்தேக்கி வெளியீட்டுச் சைகை யில் உள்ள அதிக அதிர்வெண்களை நீக்கிவிடுவதால் வெளியீட்டுக் குரல் இனிமையாக இருக்கும். ஒலிப்பான் சிறிய அளவுடையதா யிருப்பதால் அதிக அதிர்வெண்களுக்கு அதிக உணர்வுடையதாய் இருக்கும். இதற்கு எதிராக 0.1 மைக்ரோ பாரட் மின்தேக்கி செயற்பட்டுச் சரிசெய்கிறது.

B-வகை செவியுணர் பெருக்கிகள், டிரான்சிஸ்டர் ஏற்பிகளில் (Recivers) அதிகமாய்ப் பயன்படுத்தப்படுவதற்குக் காரணம் அவை திறம் மிக்கவை. குறைந்த உருக்குலைவு மட்டுமின்றிச் சைகை தரப்படாதபோது, மின்னோட்டம் சிறிதளவுகூட வீணாக் கப்படுவதில்லை. இது *A*-வகை டிரான்சிஸ்டர்கள், தள்ளிழுவை முறையில் இணைக்கப்பட்டிருந்தால் ஒரு சராசரி மின்னோட்டம் அவற்றின் வழியே சென்று மின்கலத்தில் மின்னோட்டத்தை வீணாக்கும். இவை திறன் டிரான்சிஸ்டர்களாதலால் அவற்றின் மின்னோட்டத்தேவைகள் அதிகமாதலால் குறிப்பிடத்தக்க அளவு திறன் வீணாகும். எனவேதான், *B*-வகை பயன்படுத்தப் படுகிறது.

படம் 15.16-ல் மின்மாற்றிகள் எதுவும் பயன்படுத்தப் படாமல் இரண்டு தனித்தனி மின்கலங்கள் பயன்படுத்தப்

பட்டுள்ள ஒரு தள்ளிழுவை A-வகைத் திறன்பெருக்கி காண்பிக்கப் பட்டுள்ளது. இதில் ஒரு n-p-n டிரான்சிஸ்டரும், ஒரு p-n-p டிரான் சிஸ்டரும் நிரப்புச்சுற்ருக (Complementry) பயன்படுத்தப்பட் டுள்ளன. இதில் வெளிவரும் வெளியீடு தள்ளிழுவைப் பெருக்கி களின் வெளியீடுகளைப்போன்றே எல்லாப் பண்புகளையும் பெற்றிருக்கும்.



படம் 15.16
மின்மாற்றிகள் பயன்படுத்தப்படாத தள்ளு—இழுவை பெருக்கி

டிரான்சிஸ்டர் அலையியற்றிகள்

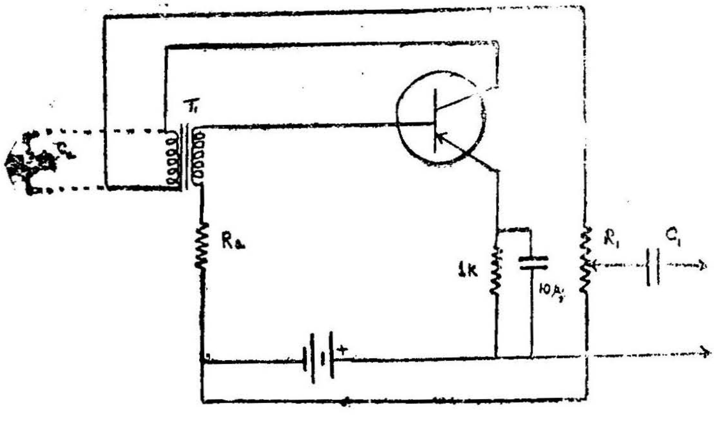
டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கிகளாகப் பயன்படுவது போலவே அலையியற்றிகளாகவும் பயன்படுத்தப்படலாம். வால்வுகளைப் பயன்படுத்திப் பல்வேறு அலையியற்றிச் சுற்றுகளை அமைக்கலாம் என்பது தெரியும். அவ்வாறு அமைக்கப்படும் ஒவ்வொரு சுற்றுக்கும் இணையான டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுகளை அமைக்க முடியும். அத்தோடு வால்வுகளைக்கொண்டு அமைக்க முடியாத

சில சிறப்பான டிரான்சிஸ்டர் அலையியற்றிச் சுற்றுகளையும் டிரான் சிஸ்டரைக்கொண்டு அமைக்கமுடியும்.

வால்வு அலையியற்றிகளில் பெருக்கப்பட்ட வெளியீட்டின் ஒரு பகுதி பின்னூட்டமாக உள்ளீட்டுச் சுற்றுக்குக் கொடுக்கப் படுகிறது. இவ்வாறு கொடுக்கப்படும் பகுதி உள்ளீடுச் சைகை யோடு ஒரே கட்டத்தில் இருக்கவேண்டும். இதனால், இவையிரண் டும் ஒன்றாகி மேலும் பெருக்கப்படும். இது நேர்ப்பின்னூட்டம் (Positive feed back) எனப்படும். ஓர் அலையியற்றிச் சுற்றில் நேர்ப் பின்னூட்டம் இருந்தால்தான் அது அலையியற்றியாகச் செயற் படும் என்பது தெளிவு.

குறை அதிர்வெண் அலையியற்றிகள்

ஒரு குறை அதிர்வெண் அலையியற்றியின் படம் 15·17-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. இது பொது உமிழ்வாய் அமைப்பில் இருக்கிறது. இந்தச் சுற்றில் வெளியீட்டு ஏற்புவாய் முனைக்கு இணைக்கப்பட்டுள்ள R_1-மின்தடையில் தோன்றும். C_1-என்பது|வெளியீட்டுப் பிணைப்பு மின்தேக்கி. இச் சுற்றில் அடிவாய், ஏற்புவாய் ஆகிய இரண்டுக்குமே பயாசு கொடுக்க ஒரே ஒரு மின்கலம்தான் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

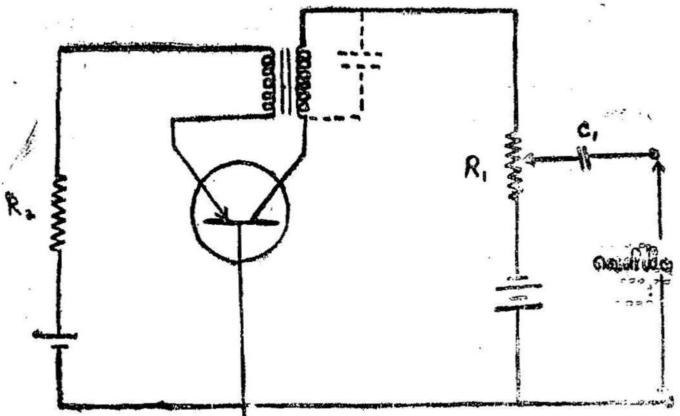


படம் 15.17
குறை அதிர்வெண் அலையியற்றி

R_1-முனைகளுக்கிடையே தோன்றும் வெளியீட்டின் ஒருபகுதி அடிவாய்ச்சுற்றுக்குப் பின்னூட்டமாகக் கொடுக்கப்பட்டிருப் பதைப் படம் காட்டுகிறது. அடிவாய்ச் சுற்றின் ஒரு மின்மாற்றி

யின் துணைச்சுருளில் இணைக்கப்பட்டிருக்க ஏற்புவாய்ச்சுற்று முதன்மைச் சுருளுக்கு இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்த மின்மாற்றி தான் ஏற்புவாய்ச் சுற்றுக்கும் அடிவாய்ச் சுற்றுக்கும் இடையே பின்னூட்டப் பிணைப்பாகச் செயற்படுகிறது R_2-என்ற மின்தடை அடிவாய்ச்சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இது ஏற்புவாய்ச் சுற்றிலுள்ள மின்னோட்டத்தைப் பொருத்தமான அளவு இருக்கும் படி செய்யும்.

மின்மாற்றியின் துணைச்சுருள் அடிவாய், உமிழ்வாய்ச் சுற்றின் குறைந்த மின்மறுப்புக்கு ஏற்றவாறு அமைக்கப்பட்டிருக்கும். அதே நேரத்தில் துணைச் சுருளின் மின்மறுப்பானது ஏற்புவாய்ச் சுற்றின் உயர்ந்த மின்மறுப்புக்கு ஏற்றவாறு அமைக்கப்பட வேண்டும். ஏனெனில், இந்தச் சுருள்களின் மின் தூண்டல் பண்புகளையும் அதையொட்டித் தோன்றுகின்ற தேக்குதிறனையும் பொறுத்துத்தான் தோன்றும்அலைவுகளின் அதிர்வெண் அமையும். C_2-போன்ற மின்தேக்கிகளை மின்மாற்றிச் சுருளுக்கு இணையாக இணைத்து அலைவுகளின் அதிர்வெண்ணைக் குறைக்கலாம்.



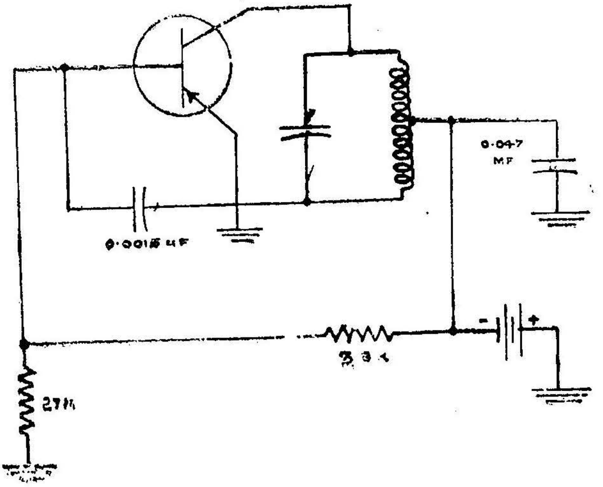
படம் 15·18
பொது அடிவாய் குறை அதிர்வெண் அலையியற்றி

இதே அலையியற்றியை ஒரு டிரான்சிஸ்டர் பொது அடிவாய் அமைப்பில் பயன்படுத்தியும் அமைக்கலாம். ஆனால், உள்ளீடு, வெளியீடுச் சுற்றுகளுக்குப் பொருத்தமான, தேவையான பயாசுகள் கொடுப்பதற்கு இரண்டு தனித்தனி மின்கலங்கள் தேவைப்படும். இத்தகைய பொது அடிவாய் அமைப்பிலுள்ள ஒரு குறை

அதிர்வெண் அலையியற்றியின் சுற்றுப்படம் படம் 15.18-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது.

ஹார்ட்லி அலையியற்றி

டிரான்சிஸ்டர்களைக்கொண்டு உயர் அதிர்வெண் (RF) அல்லது ரேடியோ அதிர்வெண் அலையியற்றிகளை அமைக்கலாம். இவை வால்வு அலையியற்றிகளைப் போன்றே செயற்படும். படம் 15·19-ல் ஒரு டிரான்சிஸ்டர் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள ஹார்ட்லி அலையியற்றியின் சுற்றுப்படம் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இது பொது உமிழ்வாய் அமைப்புக்கொண்டது. இதிலுள்ள சுருளில் தோன்றும் ஆற்றலில் ஒரு பகுதி பின்னூட்டமாகக் கொடுக்கப்படுகிறது. மின்தூண்டல் சுருள் ஏற்புவாய்க்கும் உமிழ்வாய்க்கும் இடையே இணைக்கப்பட்டுள்ளது. சுருளின் இடையில் ஒரு புள்ளியில் தொடுப்பு தோற்றுவிக்கப்பட்டு இது அடிவாய் உள்ளீட்டுச் சுற்றுக்கு இணைக்கப்படுகிறது.



படம் 15.19

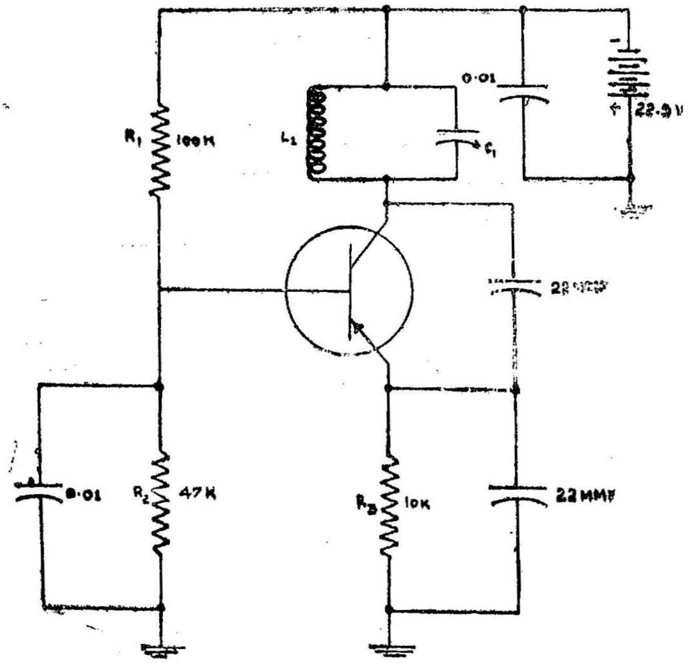
டிரான்சிஸ்டர் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள ஹார்ட்லி அலையியற்றி

அடிவாய்ச் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டுள்ள 3.9 K மின்தடை அடிவாய், உமிழ்வாய் இடையே தேவையான பயாசு இருக்கும்படி சரிசெய்கிறது. இச் சுற்றில் ஒரே ஒரு மின்கலம்தான் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

ஏற்புவாய்ச்சுற்றிலுள்ள இசைவிச்சுற்றிலுள்ள மின்தூண்டல், மின்தேக்குதிறன் ஆகியவற்றைப் பொறுத்து இந்த ஹார்ட்லி அலையியற்றியின் அதிர்வெண் அமையும்.

கால்பிட் அலையியற்றி

ஒரு டிரான்சிஸ்டர் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள கால்பிட் அலையியற்றி படம் 15.20-ல் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. இதுவும் பொது உமிழ்வாய் அமைப்புக் கொண்டதே. இதன் ஏற்புவாய்ச் சுற்றில் L_1, C_1 கொண்ட இசைவுச்சுற்று இணைக்கப்பட்டுள்ளது. தெளிவான, சீரான, அலைவுகள் தோன்றுவதற்காக 22 மைக்ரோ ஃபாரட் மதிப்புள்ள இரு மின்தேக்கிகள் ஏற்புவாய், உமிழ் வாய்க்குமிடையேயும், உமிழ்வாய் நிலத்திற்குமிடையேயும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. R_1, R_2 மின்தடைகள் அடிவாய்—உமிழ்



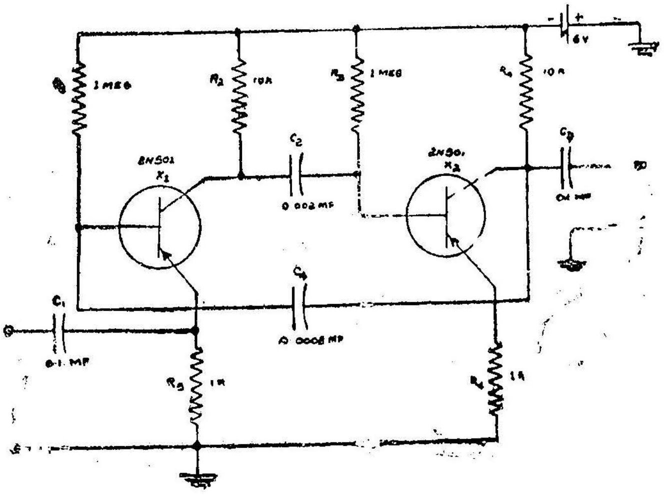
படம் 15·20
டிரான்சிஸ்டர் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள கால்பிட் அலையியற்றி

வாய்ச் சுற்றுக்குப் பொருத்தமான மின்னழுத்தத்தைத் தருகின்றன. உமிழ்வாய்ச் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டுள்ள மின்தடை R_3, D.C மின்னழுத்தத்தின் நிலைத்தன்மையைப் பாதிக்கிறது. வெப்பநிலை மாறுபாடுகளால் தோன்றும் மாற்றங்களை இது குறைக்கும்.

பல் அதிர்வி (Multivibrator)

இரு டிரான்சிஸ்டர்களைப் பயன்படுத்தி ஒரு பல் அதிர்விச் சுற்றை அமைக்கமுடியும். இவ்வாறு அமைக்கப்பட்ட ஒரு பல் அதிர்வியின் சுற்றுப்படம் படம் 15.21-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

இதில் இரு டிரான்சிஸ்டர்கள் பொது உமிழ்வாய் அமைப்பில் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளன. ஒவ்வொரு டிரான்சிஸ்டரும் ஒரு நில இணைப்புப்பெற்ற உமிழ்வாய் பெருக்கி போல் செயல்படும். இதனால் ஒவ்வொரு நிலையிலும் 180° கட்ட மாற்றம் கிடைக்கும். சுற்றில் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள மின்தடை, மின்தேக்கி மதிப்புகளுக்கு தோற்றுவிக்கப்படும் அலைவுகளின் அதிர்வெண் 2 கிலோ ஹெர்சு இருக்கும். இந்த மதிப்புகளை மாற்றி அமைத்து தேவையான அதிர்வெண்களைப் பெறலாம்.



படம் 15.21
இரண்டு டிரான்சிஸ்டர் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள பல்அதிர்வியின்சுற்றுப்படம்

இந்தப் பல் அதிர்வி ஒருநிலை நிறுத்தப்பட்டு மற்றது செயற்படும் வகையில் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. இந்தச் சுற்றில் X_2-டிரான்சிஸ்டர் பகுதியில் உமிழ்வாய், அடிவாய் மின்னழுத்தமானது அடிவாய் நேர்மின்னழுத்தத்தில் இருக்கும்படி அமைந்துவிட்டால் X_2-டிரான்சிஸ்டர் செயலற்று நின்றுவிடும். இது X_2-ன் வெட்டுநிலை (cut-off stage) ஆகும். பொதுவாக அடிவாய் எதிர்மின்னழுத்தத்தில்தான் இருக்கவேண்டும்.

இந்த வெட்டுநிலை தோன்றத் தேவையான அடிவாய் மின்னழுத்தமானது R_3 மின்தடை முனைகளுக்கிடையே தோன்றும். R_3-மின்தடையுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள C_2 மின் தேக்கியிலுள்ள நேர்மின்னழுத்தமானது மின்னிறக்கத்தால் குறையும்வரை X_2-டிரான்சிஸ்டர் வெட்டுநிலையிலிருக்கும். இதே போன்று R_1-மின்தடையும் C_4-மின்தேக்கியும் X_1-டிரான்சிஸ்டரை வெட்டுநிலைக்குக் கொண்டுவரும். இந்த பல் அதிர்வியின் வெளியீடு இரம்பப்பல் அலை அமைப்புக்கொண்டதாக இருக்கும்.

இரம்பப்பல் அலை அமைப்புக்குப் பதிலாக நீள்சதுர அலை அமைப்பு வெளியீடு தேவையென்றால், X_2-டிரான்சிஸ்டரின் ஏற்பு வாய்க்கும் நிலத்திற்கும் இடையே ஒரு மின்தேக்கி இணைக்கப்பட வேண்டும். இது குறை அதிர்வெண்களில் நன்கு செயற்படும். மிகு அதிர்வெண்களில் இவ்வமைப்புப் பயன்படா. ஏனெனில், இந்த மின்தேக்கி பளுத்தடையை மாற்றும்வகையில் அமைந்து விடும்.

இதுவரை டிரான்சிஸ்டர்கள் பயன்படுத்தப்பட்டுள்ள சில சுற்றுகள்மட்டும் விளக்கப்பட்டன. முன்பே கூறியபடி ஒவ்வொரு வால்வுச் சுற்றுக்கும் இணையான டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுகளை அமைக்க முடியும். அத்தோடு வால்வுகளைக்கொண்டு அமைக்க முடியாத மேம்பாடுடைய சில சுற்றமைப்புகளையும் டிரான்சிஸ்டர் களைக்கொண்டு பெறலாம். டிரான்சிஸ்டர் சுற்றுகள் எல்லா வற்றையும் முழுமையாகப் பகுப்பாய்வு செய்வதும், அவற்றிற் கான கணக்கீடுகளைப் பெறுவதும் இந்நூலுக்கு அப்பாற்பட்ட செயலாகும்.

வினாக்கள்

1. ஒரு பொதுவான டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கியின் படம் வரைந்து அது செயற்படும் முறையை விளக்கி எழுது.

2. ஒரு பொது அடிவாய்ப் பெருக்கி, பொது உமிழ்வாய்ப் பெருக்கி, பொது ஏற்புவாய்ப் பெருக்கி ஆகியவற்றின் படங் களைத் தனித்தனியே வரைந்து செயல் முறைகளை விளக்கு.

3. 3-வகை பெருக்கிகளின் செயல் முறைகளிலுள்ள வேறுபாடு களை விளக்கி எழுது.

4. ஒரு டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கியில் பொது உமிழ்வாய் அமைப்பு மட்டும் தேர்ந்தெடுக்கப்படுவது ஏன் என்பதை விளக்கு.

5. ஒரு டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கி செயற்படும்போது, வெப்பநிலை யில் மாற்றம் ஏற்படும்போது செயற்புள்ளி மாறுவண்ணம் எவ்வாறு நிலைப்படுத்தப்படுகிறது.

6. ஒரு இருநிலைப்பெருக்கி அல்லது பல்லடுக்கு டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கி அமைக்கப்படும்போது பொது அடிவாய் அமைப்போ அல்லது பொது ஏற்புவாய் அமைப்போ பயன்படுத்தப் படுவதில்லை. பொது உமிழ்வாய் அமைப்பு மட்டுமே பயன் படுத்தப்படும். காரணங்களையும், அதன் மேம்பாடுகளையும் விளக்கி எழுது.

7. ஒரு டிரான்சிஸ்டர் பெருக்கியில் எதிர்ப் பின்னூட்டம் எவ்வாறு கொடுக்கப்படுகிறது. இதன் அனுகூலங்கள் யாவை?

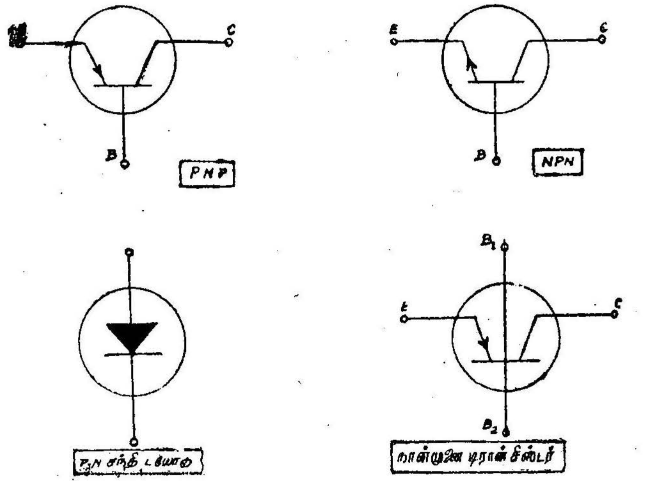
8. டிரான்சிஸ்டர்கள் திறன் பெருக்கிகளாக எவ்வாறு பயன் படுத்தப்படுகின்றன. ஒரு டிரான்சிஸ்டர் திறன் பெருக்கியின் சுற்றுப்படம் வரைந்து அது செயற்படும் முறையை விளக்கி எழுது.

9. ஒரு டிரான்சிஸ்டர் அலை இயற்றியாக எவ்வாறு செயற் படுகிறது என்பதை விளக்கு. ஒரு ஹார்ட்லி அலையியற்றி யின் சுற்றுப்படம் வரைந்து அது வேலை செய்யும் விதத்தை விளக்கு.

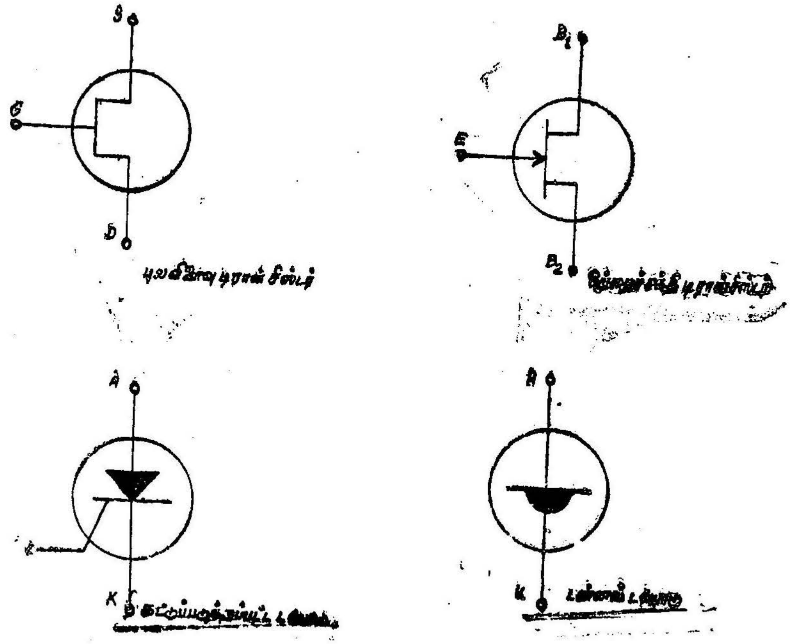
10. ஒரு கால்பிட் அலையியற்றியின் சுற்றுப்படம் வரைந்து அதன் செயலை விளக்கு.

11. ஒரு பல் அதிர்வியின் சுற்றுப்படம் வரைந்து அதன் செயல் முறையை விவரி.

பல்வேறு டயோடுகள், டிரான்சிஸ்டர்கள் ஆகியவற்றின் குறியீடுகள் (Symbols)



படம் (அ)



படம் (ஆ)

பயனுள்ள சில மாறிலிகள்

எண்	அளவு	குறியீடு	மதிப்பு	M. K. S. அலகு
1	ஒளியின் வேகம்	C	$2{\cdot}998 \times 10^{8}$	மீட்டர்/ விநாடி
2	வெற்றிட அனுமதித் திறன்	$\in_0$	$8{\cdot}85 \times 10^{-12}$	பாரட்/ மீட்டர்
3	வெற்றிடத்தின் உட்புகு திறன்	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$	ஹென்ரி/ மீட்டர்
4	பிளாங்க் மாறிலி	h	$6{\cdot}625 \times 10^{34}$	ஜூல்/விநாடி
5	போல்ட்ஸ்மென் மாறிலி	k	$1{\cdot}38 \times 10^{-23}$	ஜூல்/$^{\circ}$k
6	எலக்ட்ரானின் நிறை	m_0	$9{\cdot}106 \times 10^{-31}$	கிலோ கிராம்
7	எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம்	q	$1{\cdot}602 \times 10^{-19}$	கூலூம்
8	நிறை மின்னூட்டத்தகவு	q/m_0	$1{\cdot}759 \times 10^{11}$	கூலூம்/ கிலோ கிராம்
9	வெப்பமின்னழுத்தம்	KT/q	$25{\cdot}9 \times 10^{-3}$	வோல்ட்
10	எலக்ட்ரான்வோல்ட்	ev	$1{\cdot}602 \times 10^{-19}$	ஜூல்
11	அவகாட்ரோ எண்	N	$6{\cdot}024 \times 10^{23}$	மூலக்கூறு/ மோல்

அளவைகளின் கீழ்ப்பகுதிகளும் மேற்பகுதிகளும்

எண்	கீழ்ப்பகுதி/ மேற்பகுதி	பெயர்	குறியீடு
1	10^{-12}	மைக்ரோ மைக்ரோ அல்லது பைக்ரோ	μ μ *p*
2	10^{-9}	நானோ	*n*
3	10^{-6}	மைக்ரோ	μ
4	10^{-3}	மில்லி	*m*
5	10^{-2}	சென்டி	*c*
6	10^{-1}	டெசி	*d*
7	10^{1}	டெகா	*da*
8	10^{2}	ஹெக்டா	*H*
9	10^{3}	கிலோ	*K*
10	10^{6}	மெகா	*M*
11	10^{9}	ஜெகா	*G*
12	10^{12}	டெரா	*T*

கிரேக்க எழுத்துக்களும் அவற்றின் பெயர்களும்

எழுத்து	தமிழில் பெயர்	ஆங்கிலத்தில் பெயர்
α	ஆல்ஃபா	Alpha
β	பீட்டா	Beta
γ	காமா	Gamma
δ	டெல்ட்டா	Delta
ε	எப்சிலான்	Epsilon
ζ	ஜீட்டா	Zeta
η	ஈட்டா	Eta
θ	தீட்டா	Theta
ι	ஐயோட்டா	Iota
k	கப்பா	Kappa
λ	லேம்டா	Lambda
μ	மியு	Mu
ν	நியு	Nu
ξ	சை	Xi or Si
ο	ஒமிகிரான்	Omicron
π	பை	Pi
ρ	ரோ	Rho
σ	சிக்மா	Sigma
τ	டௌ	Tau
υ	அப்சிலான்	Upsilon

மேற்கோள் நூற்பட்டியல்

1. Electrons and Holes in Semiconductors, —By William Shockley, D. Van Nostrand Company, New York.

2. Semiconductor devices and applications. —By R. A. Greiner, Mc Graw-Hill Book Company, New York.

3. Semiconductor Electronics, —By James F. Gibbons, Mc Graw - Hill Book Company, New York.

4. Semiconductor Technology, —By V. Bruk, MIR Publishers, Moscow.

5. Introduction to Semiconductor, —By N. C, Dunlop, John Wiley & Sons, London.

6. Introduction to Semiconductor Physics, —By R. B. Adler, A. C. Smith, R. L. Logini, John Wiley & Sons, New York.

7. Fundamentals of Semiconductor devices, —By Joseph Lindmayer, Charles Y. Wrigley, Van Nostrand Reinhold, New York.

8. Transistor Engineering —By Phillips, Mc Graw Hill Book Company, New York.

9. Transistor physics and circuit Design, —By D. C. Sarkar, S. Chand & Co., [P] Ltd, NDL-55.

10. Diodes and Transistors, —By Fontaine, B. I. Publications, Bombay.

11. Tarnsistors, —By Milton S. Kiver, Mc Graw Hill Book Company, New York.

12. Transistor, —By Dennis Le Croissette, Prentice-Hall of India [P] Ltd., New Delhi.

13. Transistor-Theory and Practice, —By Rufus P. Turner, D B. Taraporevala Sons & Co., Pvt. Ltd, 210, Dr. Dadabhai Naoroji Road, Bombay-1.

14. Transistor Circuits Analysis and Design, —By Fitchen, Van Nostrand Reinhold Co., New York.

15. Transistor Circuit Analysis, —By Maurice V. Joyce, Kenneth K. Clarke, Addison - Wesley Publishing Company, London.

16. Principles of Transistor Circuits, —By S. W. Amos, Allied Publishers, Bombay.

17. Electrical Characteristics of Transistor, — By R. L. Pritchard, McGraw Hill Book Company, New York.

18. Physical Electronics and Circuit Models of Transistors, —By P. E. Gray, D. Dewitt, A. R. Boothroyd and J. F. Gibbons, John Wiley & Sons, New York.

19. Electronic Circuits, —By E. J. Angelo, McGraw Hill Book Company, New York.

20. Basic Electronics for Scientists, —By James J. Brophy, McGraw Hill Book Company, New York.

21. Essentials of Radio Electronics, —By Morris Slurzberg & William Osterheld, McGraw Hill Book Company, New York.

22. Solid State Theory, —By Walter A. Harrison, Tata McGraw Hill Publishing Co. Ltd., Bombay.

23. Indroduction to solid State Physics, —By Kittel, John Wiley & Sons, London.

கலைச்சொற்கள்

A

Abraded — சுரண்டப்பட்ட
Abrupt — திடீரென்று, செங்குத்தான
Absolute — சார்பிலா
Absorption — உட்கவர்தல்
Acceptance — ஏற்பு
Acceptor — ஏற்பி
Acceptor atom — ஏற்பி அணு
Acceptor level — ஏற்பி மட்டம்
Action — செயல்
Active — செயல்திறமுடைய
Additive component — கூட்டுக் கூறு
Adjustment — சரிசெய்தல்
Admittance — மின் ஏற்பு, நுழைவுறு
Advantages — அனுகூலங்கள்
Affected — பாதிக்கப்பட்ட
Allowed — அனுமதிக்கப்பட்ட, தடுக்கப் படாத
Allowed transition — அனுமதிக்கப்பட்ட பெயர்ச்சி
Alpha — ஆல்ஃபா
Alternating current — மாறுதிசை மின்னோட்டம்
Amplification — பெருக்கம்
Amplifier — பெருக்கி
Amplifier noise — பெருக்கி இரைச்சல்
Analyser — பகுப்பான்
Analysis — பகுப்பாய்வு
Angstron unit — ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகு
Anode — நேர்மின்வாய்
Approximations — தோராயங்கள்
Assume — கருதிக்கொள், மேற்கொள்
Attraction — கர்ப்பு, கவர்ச்சி
Atomic number — அணு எண்

Atomic structure — அணு அமைப்பு
Automatic — தானியங்கி
Axis — அச்சு

B

Bad conductor — அரிதிற்கடத்தி
Band — பட்டை
Band system — பட்டைத்தொகுதி
Band width — பட்டை அகலம்
Barrier — தடுப்பு
Barrier potential — தடுப்பு மின்னழுத்தம்
Base — அடிவாய்
Base of transistor — டிரான்சிஸ்டரின் அடிவாய்
Battery — மின்கலம்
Behaviour — இயங்குமுறை
Bias voltage — பயாசு மின்னழுத்தம்
Bipolar — இருமுனையான
Bombard — தாக்குதல்
Bound electron — கட்டுண்ட எலக்ட்ரான்
Boundary — வரம்பு, எல்லை
Boundary condition — எல்லை நிபந்தனை
Bundles — கட்டுகள்
By pass — புறவழி
By pass condenser — மாற்றுவழி மின்தேக்கி

C

Capacitance — மின்தேக்குதிறன்
Capacitative coupling — மின்தேக்கி இணைப்பு
Capacitative current — மின்தேக்கி மின்னோட்டம்
Capacitative reactance — மின்தேக்கி எதிர்ப்பு
Carriers — ஊர்திகள்
Cathode — எதிர்மின்வாய்
Cell — அறை அமைப்பு
Characteristic — சிறப்பியல்பு
Characteristic impedance — சிறப்பியல் மின்னெதிர்ப்பு
Channel — கால்வாய்
Charge — மின்னூட்டம்
Charge density — மின்னூட்ட அடர்த்தி, மின்னூட்டச் செறிவு

Charge distribution — மின்னூட்டப் பகிர்வு
Chemical impurities — வேதியியல் தூசு
Circuit — சுற்று
Classification — வகைப்படுத்தல்
Closed circuit — மூடிய சுற்று
Coherent — ஒரியல்பான
Colpitt oscillator — கால்பிட் அலையியற்றி
Common — பொதுவான
Common base configuration — பொது அடிவாய்ச் சுற்று அமைப்பு
Common collector Configuration — பொது ஏற்புவாய்ச் சுற்று அமைப்பு
Common emitter configuration — பொது உமிழ்வாய்ச் சுற்று அமைப்பு
Common potential — பொது மின்னழுத்தம்
Communication — செய்தித்தொடர்பு
Complementary — புகழ்ச்சியைத் தெரிவிக்கிற, முழுமையாக்குகிற
Condenser — மின்தேக்கி
Condition — தகுதி, நிலை
Conduction band — கடத்தல் பட்டை
Conduction current — கடத்தல் மின்னோட்டம்
Conductor — கடத்தி
Constant — மாறிலி
Contact potential — தொடு மின்னழுத்தம்
Contacts — தொடுப்புகள்
Control grid — கட்டுப்படுத்தும் கிரிடு
Contribute — பங்குகொண்டு உதவு
Covalent band — இணைதிறப் பட்டை
Covalent bond — இணைதிறப் பிணைப்பு
Crystal — படிகம்
Crystal lattice — படிக அணிக்கோவை
Crystal oscillator — படிக அலையியற்றி
Current — மின்னோட்டம்
Current density — மின்னோட்டச் செறிவு
Current swing — மின்னோட்ட வீச்சு
Cut-off bias — வெட்டு மின்னழுத்தம்
Cut-off frequency — வெட்டு அதிர்வெண்
Cut-off voltage — வெட்டுநிலை மின்னழுத்தம்

D

Decoupling — இணைப்பு நீக்கம்
Defects — குறைகள்
Definition — வரையறை
Degenerative — சீர்கேடுற்ற
Demodulation — அலைப்பண்பிறக்கம்
Density — செறிவு அடர்த்தி
Depletion layer — நெருக்கம் குறைந்த அடுக்கு
Depth of modulation — பண்பேற்ற நெடுக்கம்
Detector — பகுப்பான்
Detection — பகுத்தல்
Deviation — விலகுதல்
Devices — கருவிகள்
Diamond — வைரம்
Dielectric constant — மின்கடத்தாப்பொருள் மாறிலி
Diffusion — ஊடுருவல்
Diffusion current — ஊடுருவல் மின்னோட்டம்
Diffusion length — ஊடுருவல் நீளம்
Diffusivity — ஊடுருவல் திறன்
Diode — டையோடு
Dipole — இருமுனை
Discharge — மின்னிறக்கம்
Discrete — தனித்தனியான
Dislocation — நிலைமாறுபாடு
Divider — வகுப்பான்
Doping — கலப்பு
Drain — வடிகால்
Drift — நகர்வு
Drift current — நகர்வு மின்னோட்டம்
Drift mobility — நகர்வு திறன்
Drift velocity — நகர்வு வேகம்
Donor atom — கொடை அணு
Donor level — கொடை மட்டம்
Dynamic resistance — இயக்க மின்தடை

E

Edge — ஓரம்
Edge dislocation — முனைநிலை மாறுபாடு

Effective mass — செயலுறு நிறை
Efficiency — பயனுறுதிறன்
Einsteins Equation — ஐன்ஸ்டீன் சமன்பாடு
Eectrical conductivity — மின்கடத்துதிறன்
Electric field — மின்புலம்
Electrode — மின்வாய்
Electrolysis — மின்னாற் பகுப்பு
Electron — எலக்ட்ரான்
Electron configuration — எலக்ட்ரானின் அமைப்பு
Electron sub shell — எலக்ட்ரான் உட்கூடு
Electron volt — எலக்ட்ரான் வோல்ட்
Emitter — உமிழ்வாய்
Encounter — எதிர்ப்படுதல்
Energy band — ஆற்றல் பட்டை
Energy bundles — ஆற்றல் கட்டுகள்
Energy distribution — ஆற்றல் பங்கீடு
Energy gap — ஆற்றல் இடைவெளி
Energy level — ஆற்றல் மட்டம்
Energy loss — ஆற்றல் இழப்பு
Equivalent circuit — இணைமாற்றுச் சுற்று
Error function — பிழைச் சார்பு
Etch — செதுக்குதல்
Exception — விதிவிலக்கு
Excess carriers — மிகுதி ஊர்திகள்
Excess electrons — மிகுதி எலக்ட்ரான்கள்
Excess holes — மிகுதித் துளைகள்
Exceed — மிகைபடு, மிஞ்சு
Excited state — கிளர்ச்சியுற்ற நிலை

F

Face centered — பக்க மையம், முக மையம்
Factors — காரணக் கூறுகள்
Farad — ஃபாரட்
Favourable — உகுந்த, தகுந்த
Feed back — பின்னூட்டம்
Feed back amplifier — பின்னூட்டப் பெருக்கி
Fermi level — ஃபெர்மி மட்டம்
Field — புலம்
Field effect transistor — புலவிளைவு டிரான்சிஸ்டர்

Field gradient	—	புலச்சரிவு
Figure of merit	—	தகுதி எண்
Filled band	—	நிரப்பப்பட்ட பட்டை
Filter	—	வடிப்பான்
Flash	—	ஒளித்தெறிப்பு
Flux	—	பாயம்
Forbidden	—	தடுக்கப்பட்ட
Forbidden band	—	தடுக்கப்பட்ட பட்டை
Forward bias	—	முன்னோக்கிய பயாசு
Four pole	—	நான்முனை
Fraction	—	கூற்று எண்
Free	—	கட்டற்ற, தன்னியல்பான
Free electron	—	தனித்த எலக்ட்ரான்
Frequency	—	அதிர்வெண்
Full wave rectifier	—	முழுஅலை திருத்தி
Function	—	சார்பு

G

Gallium arsenide	—	கேலியம் ஆர்சினைடு
Gain	—	பெருக்கம்
Gate	—	நுழைவாயில்
Gate voltage	—	நுழைவாயில் மின்னழுத்தம்
Germanium	—	ஜெர்மேனியம்
Good conductor	—	நற்கடத்தி
Graded	—	சரிவான
Gradient	—	சரிவு
Graph	—	வரைபடம்
Grid	—	கிரிடு
Ground potential	—	நிலமின்னழுத்தம்

H

Half band width	—	அரைப்பட்டை அகலம்
Hall effect	—	ஹால் விளைவு
Hartley oscillator	—	ஹார்ட்லி அலையியற்றி
Heavy doping	—	வீறூர்ந்த கலப்பு
Hemisphere	—	அரைக்கோளம்
Hertz	—	ஹெர்ட்சு
Holes	—	துளைகள்

Homogeneous — ஒருபடித்தான
Horizontal — கிடைமட்டம்
Hybrid — கலப்பினம்

I

Identical — முழுவதும் ஒத்த
Imaginary part — கற்பனைப் பகுதி
Impedance — மின் எதிர்ப்பு, மின் மறுப்பு
Impurity — தூசு
Impurity semi-conductor — தூசுகலந்த குறைகடத்தி
Inconsistancy — முரண்பாடுகள்
Induced — தூண்டப்பட்ட
Inductance — மின்நிலைமம்
Inert gases — மந்தவாயுக்கள்
Infinity — முடிவிலா
Influence — மாறுதலைத் தோற்றுவித்தல்
Infra red — மேல்சிவப்பு
Injection — உட்புகுத்தல்
Injector — உட்செலுத்தி
In practice — நடைமுறையில்
Inperfection — நிறைவுறுநிலை, குறைபாடு
In-put — உள்ளீடு
In-put power — உள்ளீட்டுத் திறன்
In-put resistance — உள்ளீட்டு மின்தடை
In-put signal — உள்ளீட்டுச் சைகை
Insulator — மின்கடத்தாப் பொருள்
Integrate — தொகைப்படுத்த
Integrated circuit — தொகுத்த சுற்று
Intensity — செறிவு
Interaction — செயலெதிர்ச் செயல்
Internal energy — உள்ளாற்றல்
Interstitial impurities — சிற்றிடை வெளிச் சார்ந்த, பிளவுருவான, சந்துகளிலுள
Intrinsic — தூய்மையான, உள்ளார்ந்த
Intrinsic semi-conductor — தூய குறைகடத்தி
Inversion layer — தலைகீழ் அடுக்கு
Ion — அயனி
Ionisation — அயனியாக்கம்

J

Joule — ஜூல்
Junction — சந்தி
Junction diode — சந்தி டையோடு

K

Kilogram — கிலோகிராம்
Kilo hertz — கிலோஹெர்ட்சு

L

Laser — லேசர்
Laser action — லேசர் நிகழ்ச்சி
Lateral — இடவலமான, பக்கத்திலுள்ள
Lattice — அணிக்கோவை
Layer — அடுக்கு
Leakage current — கசிவு மின்னோட்டம், ஒழுகு மின்னோட்டம்
Liberate — விடுவித்தல்
Life time — வாழ்வு நேரம்
Light amplification — ஒளிப்பெருக்கம்
Light doping — எளிய கலப்பு
Limit — எல்லை, வரம்பு
Lithium — லித்தியம்
Load impedance — பளுமின்தடை
Load line — பளுக்கோடு
Logic — இலாஜிக்
Loud speaker — ஒலிப்பான்
Low noise amplifier — தாழ் இரைச்சல் பெருக்கி

M

Magnetic field — காந்தப்புலம்
Magnetic flux — காந்தப்பாயம்
Magnetic permeability — காந்த உட்புகுதிறன்
Magneto optical laser — காந்த ஒளியியல் லேசர்
Magnitude — எண்ணளவு
Mass — நிறை
Maximum — பெருமம்

Meg-ohm — மெக்-ஓம்
Majority carriers — பெரும்பான்மை ஊர்திகள்
Micro-farad — மைக்ரோஃபாரட்
Micron — மைக்ரான்
Micro wave — மைக்ரோ அலை
Minimum — சிறுமம்
Minority carriers — சிறுபான்மை ஊர்திகள்
Mobility — நகர்வுதிறன்
Modulation — அலைப்பண்பேற்றம்
Molecular band width — மூலக்கூறுப் பட்டை அகலம்
Molecular dissociation — மூலக்கூறுகள் பிரிகை
Molecule — மூலக்கூறு
Motion — இயக்கம்
Multiplication — பெருக்குதல்
Multiplication factor — பெருக்க எண்
Multiplier — பெருக்கி
Multiply — பெருக்க
Multivibrator — பல் அதிர்வி

N

Natural frequency — இயல்பு அதிர்வெண்
Natural width — இயல்பு அகலம்
Negative charge — எதிர் மின்னூட்டம்
Negative crystal — எதிர்ப்படிகம்
Negative electrode — எதிர்மின்வாய்
Negative energy level — எதிர் ஆற்றல் மட்டம்
Negative energy state — எதிர் ஆற்றல் நிலை
Negative terminal — எதிர் இணைப்பு முனை
Neutral — நடுநிலையான
Neutron — நியூட்ரான்
Noise — இரைச்சல்
Noise figure — இரைச்சல் எண்
Non-conductor — கடத்தாப்பொருள்
Non-linear — நேர்ப்பாங்கற்ற
N-type semi-conductor — n-வகைக் குறைகடத்தி
Nuclear atom model — கரு-அணு அமைப்பு
Nuclear model — அணுக்கரு மாதிரி அமைப்பு
Nucleus — அணுக்கரு
Numerical value — எண் மதிப்பு
Nut — திருகுமரை

O

Obvious — வெளிப்படையான
Occupy — இடம்பெறு, அமர்ந்துகொள்
Off-state — செயல்படா நிலை
Ohm — ஓம்
Omega — ஓமேகா
On the other hand — இதற்கு மாறாக
Open circuit — திறந்த சுற்று
Open end — திறந்த முனை
Operating point — செயற்புள்ளி
Orbit — சுற்றுப்பாதை
Order — வரிசை
Oscillation — அலைவு
Oscillator — அலையியற்றி
Out-let — விடுவாய், வெளிவிடுவாய்
Out-put — வெளியீடு
Overlape — மேற்பொருந்தல்
Over lapping — மேற்சென்று கவிழ்தல்

P

Parallal connection — பக்க இணைப்பு
Parallelopiped — இணைவகத்திண்மம்
Parameters — அளபுருக்கள், பராமீட்டர்கள்
Particle — துகள்
Passive — உயிர்ப்பற்ற
Pattern — அமைப்பு
Paulis Exclusion Principle — பௌலியின் தவிர்த்தல் விதி
Pellet — குமிழ்வடிவம்
Performance — செயல்திறம்
Periodicity — இடையீட்டு ஒழுங்கு
Periodic table — தனிம அட்டவணை
Permeability — உட்புகுதிறன்
Permittivity — அனுமதித்திறன்
Perpendicular — நேர்குத்து, செங்குத்து
Phase — கட்டம்
Phase difference — கட்ட வேறுபாடு
Phase velocity — கட்டத் திசைவேகம்
Phenomenon — நிகழ்ச்சி

Phonon — ஃபோனுன்
Photomultiplier — ஒளிமின் பெருக்கி
Photon — ஃபோட்டான்
Physics — இயற்பியல்
Pinch-off — நெருக்கித் தவிர்த்தல்
P-N-junction — P-N சந்தி
Point contact — புள்ளிதொடு, தொடுபுள்ளி
Poly crystaline — பல்படிக
Poor acceptor — வளமற்ற ஏற்பி அணு
Population inversion — தொகைத் தலைகீழாக்கம்
Positive charge — நேர்மின்னூட்டம்
Positive electrode — நேர்மின்வாய்
Potential — நிலைமின்னழுத்தம்
Potential barrier — மின்னழுத்தத் தடுப்பு
Potential difference — மின்னழுத்த வேறுபாடு
Potential energy — நிலை ஆற்றல்
Potential hill — மின்னழுத்த மேடு
Power amplifier — திறன் பெருக்கி
Power gain — திறன் பெருக்கம்
Primary circuit — முதன்மைச் சுற்று
Probability — நிகழ்தகவு, நிகழ்வாய்ப்பு
Profile — ஒப்பீட்டு அளவுகோடு
Progressively — படிப்படியாக
Proton — புரோட்டான்
P-type semi-conductor — P-வகைக் குறைகடத்தி
Pulse — துடிப்பு
Pulse generator — துடிப்பு இயற்றி
Pumping — ஏற்றுதல்
Punch — துளையிடுதல்
Push-pull amplifier — தள்ளு-இழு பெருக்கி

Q

Quality — பண்பு, குணம், தன்மை
Qualitative — பண்பு அடிப்படையான, பண்பு சார்ந்த
Quantitative — அளவினை அடிப்படையாகக் கொண்ட
Quantum — குவான்டம்
Quantum condition — குவான்டம் நிபந்தனை

Quantum number — குவான்டம் எண்
Quantum theory — குவான்டம் கொள்கை
Quasi — தோற்றத்தில்

R

Radiation — கதிர்வீச்சு
Radius of the orbit — சுற்றுப்பாதை ஆரம்
Random — ஒழுங்கற்ற, குறிப்பின்றி
Range — நெடுக்கம்
Reactance — மறுப்பு
Reactance capacitor — மறுப்பு மின்தேக்கி
Reaction — எதிர்வினை
Receiver — ஏற்பி
Rectifier — அலைதிருத்தி
Recombination — ஒன்றுதல், ஒன்றுபடுதல்
Refining — துப்புரவாக்குதல், மாசகற்றுதல்
Region — பரப்பிடம், பகுதி
Regulate — கட்டுப்பாட்டுக்கு உட்படுதல்
Regulators — சீராக்கிகள்
Repel — விலக்கு
Representation — குறிப்பீடு
Residual — எஞ்சிய, மீதமான
Resistance — தடை
Resonance — ஒத்திசைவு, இயைவு
Reverse bias — திருப்பிய பயாசு, பின்னோக்கிய பயாசு
Reverse current — திருப்பிய மின்னோட்டம்
Ruby — மாணிக்கம்
Ruby laser — மாணிக்க லேசர்

S

Saturated — தெவிட்டிய
Selenium — செலீனியம்
Self resonant frequency — தன் ஒத்திசைவு அதிர்வெண்
Semi-conductor — குறைகடத்தி
Shells — கூடுகள்
Shift — இடம்பெயர்ந்து, விலகல்
Short circuited — குறுக்கிணைக்கப்பட்ட சுற்று
Shunt — இணைத்தடம்

Signal — சைகை
Significant — குறிப்பிடத்தக்க
Slope — சாய்வு
Source — மூலம்
Space charge — சூழ்மின்னூட்டம்
Specific charge — மின்னூட்ட நிறைதகவு
Split — பிளவு
Stability — நிலைப்பாடு
Statistics — புள்ளித்தொகுப்பியல், கணிப்பியல்
Step junction — படிச்சந்தி
Stimulated — தூண்டப்பட்ட
Sub-shells — உட்கூடுகள்
Substituitional impurities — பதிலீட்டுத் தூசுகள்
Surge voltage — எழுச்சி மின்னழுத்தம்
Susceptibility — ஏற்புத்திறன்
Switch — சுவிட்சு

T

Technique — உத்தி, செய்முறைத்திறம்
Theoritical analysis — கொள்கைவழி விளக்கம்
Theoritical value — கொள்கைவழி மதிப்பு
Thermal agitation — வெப்ப எழுச்சி
Thermal excitation — வெப்பக் கிளர்ச்சி
Thermal radiation — வெப்பக் கதிர்வீச்சு
Threshold — பயன்தொடக்கம்
Trans conductance — குறுக்குக் கடத்துகை
Transition — ஆற்றல் மாற்றம்
Transition region — கடக்கும் பகுதி
Transistor — டிரான்சிஸ்டர்
Transtime — கடக்கும் காலம்
Transverse — குறுக்கான
Tunnel diode — டன்னல் டையோடு
Tunnel effect — டன்னல் விளைவு
Type — வகை

U

Ultra high frequency — மீ உயர் அதிர்வெண்
Unfilled band — நிரப்பப்படாத பட்டை, நிறைவுறாத பட்டை

Unijunction — ஒற்றைச்சந்தி
Unijunction transistor — ஒற்றைச் சந்தி டிரான்சிஸ்டர்
Unit cell — அலகு அறை அமைப்பு

V

Vacancy — காலி இடம்
Valency — இணைதிறன்
Valency electron — இணைதிற எலக்ட்ரான்
Valley current — பள்ளத்தாக்கு மின்னோட்டம்
Variable — மாறி
Voltage — மின்னழுத்தம்
Voltage amplifier — மின்னழுத்தப் பெருக்கம்
Voltage swing — மின்னழுத்த வீச்சு

W

Wafer — பாளம்
Wave band — அலைப்பட்டை
Wave equation — அலைச்சமன்பாடு
Wave function — அலைச்சார்பு
Whisker — பூனை மீசை போன்ற அமைப்பு

X

Xenon — செனன்
X-rays — எக்ஸ் கதிர்கள்

Y

Y-Parameters — y-பராமீட்டர்கள்

Z

Zeenar diode — ஜீனர் டையோடு
Z-Parameters — Z-பராமீட்டர்கள்

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

சென்னை-600 031

★

தமிழில் பயில்பவர்க்குக் கல்லூரிப் பாடநூல்கள்

(Tamil Medium Books for Colleges)

1977 ஏப்ரல் முடிய 779 நூல்கள் வெளியிடப்பட்டுள்ளன

★

மேலும் விரைவில் வெளிவருபவை

பொறியியல்	—	4	நூல்கள்
மருத்துவவியல்	—	1	,,
இயற்பியல்	—	5	,,
வேதியியல்	—	1	,,
விலங்கியல்	—	2	,,
கணிதவியல்	—	2	,,
வணிகவியல்	—	3	,,
பொருளியல்	—	2	,,
புவியியல்	—	1	,,
வரலாற்றியல்	—	9	,,
அளவையியல்	—	1	,,
வானியல்	—	1	,,
உளவியல்	—	1	,,
புள்ளியியல்	—	3	,,
கல்வியியல்	—	2	,,
அரசியல்	—	2	,,
கூட்டுறவியல்	—	1	,,

கிடைக்குமிடம் :

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனக் கிடங்கு

(கல்லூரிக் கல்வி இயக்குநர் அலுவலகச் சுற்றுக்குள்)

கல்லூரிச் சாலை, நுங்கம்பாக்கம்,

சென்னை-600 006.

கல்லூரிப் பாடநூல்களுக்கு 20% கழிவு வழங்கப்படும்